

TRAITÉ

DE L'ÉLECTRICITÉ

ET

DU MAGNÉTISME.

TOME IV.

IMPRIMERIE DE FIRMIN DIDOT FRÈRES,
IMPRIMEURS DE L'INSTITUT, RUE JACOB, N° 24.

TRAITÉ EXPÉRIMENTAL DE L'ÉLECTRICITÉ ET DU MAGNÉTISME,

ET DE LEURS RAPPORTS AVEC LES PHÉNOMÈNES NATURELS;

PAR M. BECQUEREL,

DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'INSTITUT DE FRANCE, ETC.

..............Si quid novisti rectius istis,
Candidus imperti; si non, his utere mecum.

TOME QUATRIÈME.



PARIS.
FIRMIN DIDOT FRÈRES, LIBRAIRES,
RUE JACOB, N° 24.

M DCCC XXXVI.

DISCOURS PRÉLIMINAIRE.

En offrant au public un ouvrage sur l'Électricité et le Magnétisme, je n'ai jamais eu l'intention de me borner à donner les éléments de la science, et à présenter, par conséquent, un résumé de toutes les parties qui la composent; mon but a été de décrire tous les faits connus, et de montrer en même temps le rôle que joue le fluide électrique dans la nature, soit qu'il agisse comme force physique, ou comme force chimique. C'est donc à tort que quelques personnes m'ont adressé indirectement le reproche de n'avoir pas essayé de ramener tous les phénomènes à des principes simples, qui permissent d'embrasser avec facilité leur ensemble, et de former un corps de doctrine comme l'Optique, la Théorie de la chaleur, etc., où la plupart des faits découlent de quelques propriétés générales accessibles au calcul. Ce projet n'est pas exécutable, à l'époque actuelle où la science électrique se compose de trois classes distinctes de phénomènes, qui n'ont entre elles aucune relation facile à saisir, savoir : l'électricité statique,

l'électricité dynamique, en y comprenant le magnétisme, et l'électro-chimie. Certes, tous les phénomènes qui appartiennent à chacune de ces trois classes proviennent bien d'une seule et même cause; mais cette cause est tellement modifiée, quand on passe de l'électricité statique à l'électricité dynamique, et de celle-ci à l'électro-chimie, que le lien commun échappe à nos investigations.

Quand on considère les phénomènes électro-dynamiques, on suppose que le principe électrique se meut avec une vitesse presque infinie dans les corps conducteurs, d'où résulte un courant qui réagit par attraction ou par répulsion sur un autre courant, selon qu'il est dirigé dans le même sens, ou dans un sens contraire. S'agit-il d'un phénomène électro-chimique, on dit que ce même courant, quand il rencontre sur sa route une combinaison saline, la détruit en chassant d'un côté l'acide et de l'autre l'alcali. Pour expliquer les effets calorifiques de l'électricité, on admet que le courant dégage de la chaleur, quand il rencontre, en cheminant dans les corps, des obstacles qui retardent sa marche.

On voit donc que toutes les fois qu'on découvre de nouveaux faits relatifs à l'électricité, on est obligé, pour les interpréter, de lui supposer des propriétés différentes de celles que nous lui connaissions. Ce principe, cet agent, peu importe la dénomination qu'on lui donne, qui produit tant d'effets divers et qui revêt toutes les formes, se présente donc à nous comme un protée dont nous ignorons la véritable nature.

Comment, d'après cela, pourrait-on concevoir le

projet de chercher à expliquer tous les phénomènes électriques, en partant d'un principe unique? Il y aurait de la témérité à le tenter. Dans un tel état de choses, ce qu'il y a de mieux à faire est de découvrir des faits et de les coordonner de manière à en rendre l'étude facile.

Deux parties de la science qui nous occupe peuvent être soumises à l'analyse, l'électricité statique et l'électricité dynamique.

Nous savons effectivement que l'on peut déduire du calcul tout ce qui est relatif à l'équilibre de l'électricité, sur la surface de certains corps, en considérant chacun des deux principes électriques comme un fluide incompressible, dont les particules, douées d'une parfaite mobilité, se repoussent mutuellement, et attirent celles de l'autre principe, en raison inverse du carré de la distance, et admettant en outre qu'à égale distance le pouvoir attractif est égal au pouvoir répulsif. De même tous les phénomènes électro-dynamiques, c'est-à-dire ceux qui concernent l'action des courants les uns sur les autres et sur les aimants, et celle des aimants sur d'autres aimants, peuvent être calculés en déterminant la valeur analytique de la force attractive ou répulsive de deux éléments de courants, dont on déduit ensuite, par l'intégration, l'action qui a lieu entre deux portions de conducteurs, dont la forme et la position sont données. Certes, si on n'eût eu à traiter que ces deux parties, on aurait pu, à l'aide de formules générales, représenter les faits principaux, et composer, par conséquent, un traité très-simple d'électricité; mais nous ne craignons pas de le dire, les deux parties en

question sont les plus simples de la science. Quand on considère, par exemple, les phénomènes si variés relatifs au dégagement de l'électricité, les rapports complexes qui existent entre l'électricité, les affinités, la chaleur et la lumière, le rôle que joue probablement l'agent électrique, non-seulement dans la phosphorescence et les corps organisés vivants, mais encore dans la plupart des grands phénomènes de la nature, on reste convaincu que l'analyse mathématique est insuffisante pour soulever le voile qui cache encore à nos yeux tant de propriétés importantes, et que l'on ne saurait mieux faire que de multiplier les expériences, pour découvrir de nouveaux faits avec lesquels on puisse former un réseau dont le tissu, devenant de plus en plus serré avec le temps, nous offrira constamment un tableau de la science aussi complet que possible.

Voué par goût, et je puis même dire par passion, à l'étude de l'Électricité, j'ai senti, dès l'instant que j'ai commencé à m'y livrer, la nécessité de rattacher à cette science tous les phénomènes chimiques ou naturels qui paraissaient en dépendre. Lorsque l'on ne s'occupe que d'une seule chose, et que l'on y consacre tout son temps, on sent effectivement le besoin de varier de temps à autre le sujet de ses recherches, sans sortir du cadre que l'on s'est tracé, afin de reposer l'esprit, qui finit par se fatiguer de parcourir toujours le même cercle d'idées. Aussi, ai-je quitté quelquefois, dans le cours de mes travaux, une question non encore traitée complétement, pour en reprendre une autre, séduit, peut-être, par l'attrait de la nouveauté, mais avec

l'intention de revenir bientôt sur la première, comme je l'ai toujours fait.

Au surplus, chacun suit la route qui lui paraît la plus convenable pour arriver à la vérité; cette route dépend des habitudes, du caractère, et de je ne sais quoi qui caractérise chaque homme. Vouloir lui imposer une méthode, c'est vouloir le changer et le faire ce qu'il n'est pas. Toutes les méthodes sont bonnes quand elles conduisent à des vérités nouvelles.

On a pu croire aussi que je me suis jeté dans des considérations étrangères au sujet que j'avais en vue, parce que j'ai introduit dans mon ouvrage des questions de physique générale, de chimie, de géologie, d'histoire naturelle et de physiologie, que l'on n'avait jamais vues figurer dans un traité d'électricité. Je n'en disconviens pas; je l'ai fait, mais avec connaissance de cause, et j'ose croire que beaucoup de personnes m'en sauront gré.

Avant d'entrer en matière, j'ai voulu donner des notions générales sur les parties que je rattachais à l'électricité, afin que le lecteur n'y fût pas étranger. Ainsi, loin de regarder ces notions comme des hors-d'œuvre, je les considère, au contraire, comme des documents indispensables, sans lesquels il m'aurait été impossible de traiter convenablement les sujets que j'avais en vue.

Cet ouvrage, dans l'origine, devait avoir trois volumes; les matériaux mêmes étaient prêts lorsque je commençai l'impression du premier; mais, en y réfléchissant de nouveau, et en continuant surtout le cours de mes expériences, je m'aperçus bientôt

que le sujet débordait le cadre que je m'étais tracé, et qu'il fallait que je rejetasse dans deux volumes supplémentaires toutes les applications. Un autre motif m'a encore porté à en agir ainsi. Les propriétés de l'électricité prêtent tellement à l'illusion, que beaucoup de personnes, qui ont même quelques connaissances en physique, sont assez disposées, lorsqu'elles voient un phénomène nouveau dont elles ne connaissent pas la cause, à le rapporter à l'électricité, sans s'occuper si ce rapprochement est suffisamment justifié par l'expérience. Je me suis attaché dès lors à indiquer, dans un certain nombre de cas, la marche que l'on devait suivre pour savoir si son action exerçait ou non une influence sur la production de ce phénomène. Mon ouvrage a donc dû en recevoir un accroissement.

Je vais passer maintenant en revue les principaux articles qui se trouvent dans ce volume-ci, afin de prouver que je ne me suis pas écarté du plan que je viens de tracer. Les effets thermo-électriques sont déterminés maintenant avec une telle précision, qu'ils peuvent servir à observer avec une grande exactitude dans les corps les changements de température les plus faibles et les plus considérables. J'ai dû, en raison de cela, montrer comment on pouvait substituer aux pyromètres, aux thermomètres et aux thermoscopes les plus sensibles, des appareils thermo-électriques, rivalisant avec eux pour la précision, et avec lesquels on parvenait à mesurer la température de chacune des couches qui composent la flamme d'une bougie ou d'une lampe, celles de l'intérieur d'un fourneau, d'un lac jusqu'à une certaine profondeur,

et de toutes les parties intérieures du corps de l'homme et des animaux, sans qu'il en résultât un dommage sensible dans l'économie animale.

Ces appareils accusent immédiatement les changements de température à l'instant où ils ont lieu, avantage que ne possèdent pas les thermomètres ordinaires. Si cette condition n'eût pas été remplie, il aurait été impossible d'apprécier les variations subites de température qui ont lieu dans les contractions musculaires. Désirant montrer en même temps le parti que l'on peut tirer de ce mode d'expérimentation, pour la solution de plusieurs questions de physiologie, j'ai cru convenable d'indiquer quelques résultats obtenus dans divers cas pathologiques. En toutes choses, il faut joindre l'exemple au principe, si l'on veut être utile.

De là j'ai passé à la phosphorescence. Ce phénomène n'a été traité jusqu'ici *ex professo* dans aucun ouvrage de physique et de chimie. Tous les faits qui s'y rapportent, et dont le nombre est assez considérable, sont épars dans des mémoires insérés dans les recueils des sociétés savantes. La raison en est toute simple : on n'avait que des idées vagues sur la cause qui produit la phosphorescence, puisque l'on ne savait si l'on devait la considérer comme le résultat de l'action de forces physiques inconnues ou de forces chimiques particulières. J'ai fait voir que, de quelque manière qu'on l'envisageât, elle constituait réellement un phénomène électrique, et qu'il fallait en faire un chapitre à part dans un traité général de l'électricité. J'ai dû, par conséquent, en parler avec tous les développements qu'elle comporte, sans

même omettre les faits dont on n'aperçoit pas encore la relation avec l'électricité, parce que des recherches ultérieures prouveront, je l'espère, qu'ils ont une origine électrique.

L'électricité atmosphérique est exposée avec assez d'étendue dans tous les traités de physique; on ne peut effectivement parler des orages et de leurs effets, sans dire quelques mots de l'électricité aérienne. Mais on n'avait pas encore abordé, comme je l'ai fait, plusieurs questions importantes, qui tendent à montrer son influence sur un grand nombre de phénomènes.

Après avoir présenté les faits généraux et tout ce qui concerne les variations qu'éprouve l'électricité libre de l'atmosphère dans les temps sereins, toutes les vingt-quatre heures, suivant les saisons, j'ai montré que, lorsque l'air possède un excès d'électricité quelconque, la terre en a toujours un autre d'électricité contraire, que l'on peut recueillir à l'aide des instruments. Cet état électrique de la terre, qui est une conséquence de celui de l'air, a été trop négligé jusqu'ici dans les expériences relatives à l'électricité atmosphérique; aussi complique-t-il souvent les résultats, au point de les rendre souvent difficiles à interpréter.

D'un autre côté, la recomposition des deux électricités qui sont propres, l'une à l'air, et l'autre à la terre, s'effectuant par l'intermédiaire des cimes des rochers, des branches et des feuilles des arbres, et de tous les corps enfin qui se trouvent sur la surface de la terre, il doit en résulter dans l'intérieur de tous ces corps des réactions chimiques sembla-

bles à celles que M. Faraday, guidé par les recherches de Wollaston, a obtenues en dirigeant l'électricité provenant d'une machine électrique sur des bandes de papier à réactif, humectées de solutions salines, au moyen d'un conducteur métallique, *non en contact avec les bandes de papier.* Cette question, qui intéresse la philosophie naturelle, a été approfondie autant que le permettait l'état de la science.

La formation des nuages, orageux ou non, chargés d'électricité positive, est facile à expliquer; mais il n'en est pas de même de celle des nuages qui possèdent l'électricité négative. J'ai cherché à en donner une explication,

1° En m'appuyant sur une observation importante de Trail et de Volta, dont j'ai été à même de constater moi-même l'exactitude, qui est relative à l'électricité recueillie près des cascades et des chutes d'eau, laquelle est ordinairement négative;

2° En ayant égard à l'action qu'exerce par influence un nuage positif sur un nuage non électrisé en communication avec la terre;

3° En admettant que la rencontre de deux courants d'air chargés d'humidité, mais ne possédant pas la même température, peut donner naissance à des effets thermo-électriques, d'où résultent deux nuages chargés d'électricité contraire.

Je suis entré dans de grands détails sur la construction des paratonnerres, afin de présenter aux personnes chargées d'en élever sur les édifices les principes sanctionnés par la pratique et la théorie. J'ai pris pour guide l'excellent rapport sur la pose

des paratonnerres, qui a été fait par M. Gay-Lussac à l'Académie des sciences, au nom d'une commission, sur la demande du ministre de l'intérieur.

La grêle et l'aurore boréale ne m'ont occupé juste que ce qu'il fallait pour montrer jusqu'à quel point ces deux phénomènes pouvaient avoir une origine électrique. La description que j'en ai donnée a dû être très-courte.

La dernière partie du volume est consacrée à l'action qu'exerce l'électricité sur les corps organisés, quand elle se comporte comme force physique ou comme force chimique. Les phénomènes qui en dépendent sont tellement compliqués, que l'on a été obligé de multiplier les expériences, pour tâcher d'entrevoir quelques-uns des rapports qui lient les forces électriques aux forces de la nature organique, d'abord dans les végétaux, puis dans les animaux.

Pour procéder du simple au composé, j'ai commencé par exposer les effets relatifs à l'action de l'électricité sur les principes immédiats des plantes; puis, passant à la germination, j'ai fait voir que cette même action, en s'exerçant sur les sels ou autres parties constituantes des graines et des jeunes plantes, donne naissance à des produits qui réagissent soit sur les racines, soit sur les plantes elles-mêmes, de sorte que l'électricité se comporte réellement, dans cette circonstance, comme force chimique qui favorise ou contrarie l'action des forces vitales selon sa nature.

La fermentation et ses produits ont été aussi l'objet d'un examen particulier.

J'ai indiqué de quelle manière l'électricité atmosphérique peut exercer une influence sur les plantes, en me fondant toujours sur les décompositions chimiques qui s'effectuent, dans les corps organisés, par l'écoulement de l'électricité vers la terre. Cette action, dans les temps sereins et calmes, où l'électricité libre est positive, tend à attirer sur la surface de ces corps des composés acides, effets qui ne peuvent que favoriser les excrétions acides, et aider, par conséquent, à l'action des forces vitales.

Les phénomènes d'endosmose et d'exosmose, qui sont si fréquents dans la nature organique, ont eu un chapitre à part. J'en ai analysé les cas principaux, afin d'indiquer de quelle manière l'électricité pouvait être rangée au nombre des causes qui concouraient à leur production.

L'ensemble des faits observés jusqu'ici nous indique comme causes influentes, indépendamment des effets de capillarité, 1° l'action des deux liquides l'un sur l'autre ; 2° celle de chacun d'eux sur la membrane séparatrice ; 3° les effets électriques particuliers résultant de ces trois actions chimiques, lesquelles peuvent intervenir chacune dans la production du phénomène général, en raison de leurs propriétés physiques.

Je sais parfaitement que les détails dans lesquels je suis entré à cet égard sont consignés, sinon en entier, du moins en partie, dans des traités spéciaux ; néanmoins j'ai cru devoir les donner en raison des motifs indiqués précédemment.

L'action physiologique de l'électricité, qui est à

peu près nulle sur les plantes pour les faire contracter, est, au contraire, des plus énergiques sur les animaux, puisque les effets qui en résultent rappellent quelquefois les phénomènes de la vie.

Je me suis livré à une étude approfondie de cette action, dans l'espoir de jeter quelque jour sur l'une des applications de l'électricité qui offre le plus d'obscurité.

Les muscles se contractent toutes les fois que l'on irrite les nerfs correspondants, d'une manière quelconque; mais les effets ne sont pas à beaucoup près aussi marqués que ceux que l'on obtient quand on fait passer un faible courant à travers un nerf : l'électricité se comporte donc d'une manière toute spéciale, qui mérite de fixer l'attention des physiciens et des physiologistes. Pour offrir au public un traité des contractions, j'ai dû faire connaître, avec des développements suffisants, les différents modes d'action à l'aide desquels on parvient à faire contracter les muscles. Ce préambule était de rigueur. D'un autre côté, les contractions ne pouvant être interprétées qu'autant que l'on possède des notions sur la constitution des muscles et des nerfs, force m'a été de donner un précis des recherches qui ont été faites à ce sujet par les anatomistes. Par là j'ai réuni dans un cadre assez resserré tout ce qui concerne le même sujet.

J'ai fait connaître ensuite tout ce que l'expérience nous a appris depuis plus de quarante ans, touchant les contractions musculaires; quand on dirige le courant dans le sens des ramifications nerveuses, ou

dans le sens opposé, lorsqu'on maintient le circuit fermé pendant quelque temps, ou qu'on l'ouvre à des instants plus ou moins rapprochés, et qu'on le referme de nouveau, de manière à produire ce qu'on appelle les alternatives voltaïques. Un examen attentif des effets produits dans ces diverses circonstances nous révèle un mode d'organisation des nerfs que les recherches anatomiques les plus minutieuses et les plus délicates n'auraient jamais pu nous faire connaître; c'est que le nerf, dans le sens de sa longueur, a un endroit et un envers, de telle sorte qu'un courant électrique peu intense le parcourt avec facilité dans le sens de ses ramifications, et difficilement dans le sens opposé. Cette propriété, sur laquelle nous nous sommes étendu, a de l'analogie avec le fait bien constaté en physiologie, savoir que, lorsqu'on pratique une section dans un nerf, si l'on excite la partie située au-dessus de la section, les contractions musculaires ne se manifestent pas dans les membres supérieurs, c'est-à-dire que la cause qui les détermine ne remonte pas, tandis que la sensation qui résulte de l'excitation se dirige vers le cerveau. Quand l'irritation est portée au contraire au-dessous, il y a contraction, mais point de douleur. En général, il est important de distinguer deux choses quand on fait passer un courant dans un nerf, d'abord la direction, puis le temps pendant lequel chemine ce courant. Dans le premier cas, les effets varient avec la direction du courant; dans le second, l'excitabilité s'éteint en raison du temps pendant lequel chemine le courant. Les médecins qui veulent appliquer l'é-

lectricité à l'art de guérir, ne sauraient se dispenser de prendre en considération les observations que nous venons de signaler.

J'ai donné une attention particulière à tout ce qui concerne les poissons électriques, attendu que si l'on découvre un jour que le fluide électrique intervient dans les phénomènes de la vie, ce sera très-probablement après avoir étudié la propriété singulière que possèdent ces poissons, quand on les touche avec la main dans certaines parties du corps, de donner une commotion absolument semblable à celle de la bouteille de Leyde. J'ai dû par conséquent donner des développements assez étendus sur l'anatomie et les effets physiologiques de ces poissons. Il restait un point important à décider : c'était de savoir si les secousses qu'ils produisent doivent être rapportées à des effets électriques d'un ordre particulier que la vitalité a le pouvoir de développer, ou à une cause inconnue. Je me suis attaché à faire des recherches à cet égard sur la torpille, conjointement avec M. Breschet. Or, si la décharge que lance l'animal est le résultat d'une action électrique, il ne faut pas chercher, dans ce phénomène, des effets de tension qui ne sauraient exister, mais bien des courants électriques produisant des décompositions chimiques, réagissant sur l'aiguille aimantée et pouvant changer la polarité des aiguilles d'acier faiblement aimantées. Pour constater la présence de courants électriques, j'ai employé un multiplicateur dont le fil, recouvert d'une couche de vernis à la gomme laque dans toute son étendue, permettait d'observer les courants électriques dus à des décharges instantanées. Mais cette pré-

caution n'était pas suffisante; car lorsqu'on met en contact les deux extrémités du fil qui forme le circuit de l'appareil avec deux parties quelconques d'un corps organisé, on a toujours un courant électro-chimique, provenant de la réaction les uns sur les autres des liquides différents dont sont imprégnées les parties animales et de la non identité des extrémités du fil, même lorsqu'elles sont en platine. Il fallait donc, avant tout, écarter cette cause perturbatrice, c'est-à-dire le courant électro-chimique. Or, ce courant et celui qui est le résultat d'une décharge instantanée jouissent de propriétés bien distinctes : le premier ne passe pas dans l'eau distillée, tandis que l'autre la traverse sans la moindre difficulté. D'après cela, pour écarter le courant électro-chimique, il suffit de placer dans le circuit du multiplicateur un tube de verre recourbé en U, rempli d'eau distillée. C'est faute d'avoir pris cette précaution que les précédents expérimentateurs ont été induits en erreur.

En se servant du multiplicateur, convenablement préparé, et de spirales électro-dynamiques, j'ai prouvé par des expériences, qui ne paraissent à l'abri de toute objection, que la commotion de la torpille est bien le résultat d'une décharge électrique analogue à celle de la bouteille de Leyde, dirigée de telle manière que la surface supérieure de l'organe principal se trouve être le siége de l'électricité positive et la surface inférieure celui de l'électricité négative.

Pour compléter l'étude de la torpille, j'ai présenté l'anatomie de cet animal, faite avec assez de

détails pour que l'on puisse remonter, s'il est possible, à la cause de ses effets électriques. Il résulte de cet examen que l'organe principal, dans lequel afflue l'électricité, est formé d'une multitude d'alvéoles, dans l'épaisseur desquels se ramifient une foule prodigieuse de filets nerveux. Ces alvéoles, qui sont semblables à ceux d'une ruche d'abeilles, ne paraissent nullement avoir une constitution semblable à celle d'une pile voltaïque. J'ai rapporté plusieurs expériences tendant à prouver que l'électricité qui se trouve dans cet organe, à l'instant où l'animal veut lancer la commotion, est élaborée dans le cerveau.

On ne saurait douter de ce fait, puisque les effets sont anéantis dès l'instant que l'on coupe les gros troncs nerveux qui établissent la communication entre ces organes et le cerveau.

Galvani, qui avait fait une étude spéciale de la torpille, parce qu'il croyait y trouver la preuve de l'existence de l'électricité animale dans tous les êtres vivants, avait déjà observé que lorsque la tête de la torpille est coupée, les organes ne sont plus aptes à donner la commotion, et qu'il n'en est plus de même lorsque le cœur est arraché, à moins que le cerveau n'ait été enlevé.

Nous voyons donc que l'étude de l'électricité nous a forcé d'entrer dans des détails anatomiques et physiologiques que nul physicien ne peut se dispenser d'approfondir, s'il veut appliquer utilement les phénomènes électriques à la physique générale.

Après avoir présenté tous les faits relatifs aux

contractions musculaires, j'ai cherché à en rendre raison.

La première théorie rationnelle qui ait été donnée des contractions musculaires produites par l'électricité, est due à MM. Prevost et Dumas. Elle est fondée sur l'action qu'exercent à distance, l'un sur l'autre, deux courants dirigés dans le même sens, et sur la terminaison des ramifications nerveuses extrêmes qui partent du tronc principal, lesquelles après s'être dirigées parallèlement entre elles et perpendiculairement aux fibres des muscles, retournent dans le tronc qui les a fournies, ou bien vont s'anastomoser dans un tronc voisin, de manière qu'elles n'ont pas de terminaison.

Ces deux habiles physiciens supposent donc que ces filets nerveux, étant parcourus par des courants électriques, dans le même sens, s'attirent et déterminent par là le phénomène des contractions; mais ce mode de terminaison des nerfs n'est pas généralement adopté par les anatomistes, de sorte que cette théorie reste uniquement dans la science, à cause de son idée mère, c'est-à-dire de l'action des filets nerveux les uns sur les autres, par suite de l'attraction des courants qui sont censés les parcourir.

J'ai cherché ensuite à donner une théorie des contractions, en m'appuyant seulement sur des faits bien constatés. J'ai dit ce qui me paraissait le plus probable à l'époque actuelle, disposé que je suis à modifier mes opinions aussitôt que de nouvelles observations viendront enrichir la science électrique.

Puisqu'un muscle se contracte dès l'instant qu'on

irrite le nerf correspondant en un point quelconque de son trajet, il en résulte que le déplacement de quelques-unes des parties organiques du nerf suffit pour déterminer un ébranlement général dans toutes les autres, lequel est transmis immédiatement aux particules organiques du muscle. J'ai montré comment pouvait s'effectuer cette transmission de mouvement, en raison de la constitution globulaire des muscles et des nerfs, telle qu'elle a été reconnue par MM. Prevost, Dumas et Milne Edwards; j'ai pris aussi en considération la différence des effets produits suivant la direction du courant dans le nerf, et ce fait que lorsqu'un nerf est traversé par un courant dirigé d'une manière quelconque, il n'éprouve ni contraction ni dérangement apparent, lors même que le muscle est fortement agité. De là j'ai conclu que les fonctions du nerf consistent à transmettre rapidement au muscle une impulsion donnée, à peu près comme le fait une boule d'ivoire en contact avec une série de boules, disposées en ligne droite, qui leur communique à toutes successivement, jusqu'à la dernière, la quantité de mouvement qu'on lui a transmise, sans que les boules intermédiaires éprouvent un dérangement quelconque. L'organisation fibrilaire et globulaire du nerf justifie cette allégation, en supposant toutefois aux globules élémentaires une élasticité parfaite. L'ébranlement se propageant rapidement dans tous les filets nerveux dont chaque fibre musculaire est pourvue, fait entrer celle-ci en contraction. J'ai montré comment l'électricité pouvait agir avec plus d'énergie

que tous les autres agents employés pour produire ces effets.

Les observations faites jusqu'ici tendent donc à nous représenter les particules organiques des nerfs et des muscles, pendant la vie et même quelque temps après la mort, comme se trouvant dans un certain état d'équilibre instable que la cause la plus légère dérange. Cette instabilité serait un des attributs de la vie, puisqu'elle cesserait dès l'instant que ces mêmes particules commenceraient à être soumises à l'influence des forces qui régissent la nature inorganique. Il ne s'agit, ici, que des contractions produites par les stimulus quels qu'ils soient; mais en est-il ainsi de celles qui naissent sous l'empire de la volonté? La solution de cette question est au-dessus de la portée de l'homme; il y aurait donc de la témérité à chercher à la traiter; mais je crois qu'il est permis de tâcher de reconnaître quelles peuvent être quelques-unes des causes qui concourent à ce grand acte de la nature.

Lorsque l'on voit, par exemple, reproduire dans les expériences de Galvani, d'Aldini et du D[r] Andrew Ure sur des suppliciés, avec une effroyable vérité, les divers mouvements du corps et même de la face, n'est-il pas permis de supposer que la nature élaborant le fluide électrique par des moyens qui échappent à nos investigations, en dispose d'une manière plus régulière et par conséquent moins désordonnée qu'on ne le fait avec les appareils ordinaires, pour mettre en mouvement certaines parties sans troubler l'harmonie des autres.

Or, il y a tant de moyens d'exciter la puissance

électrique dans les corps, puisque le moindre dérangement dans leurs parties constituantes suffit pour troubler l'équilibre de cet agent mystérieux, qu'il peut très-bien se faire que la volonté, par un sentiment instinctif, ébranle quelques points du cerveau, pour mettre en mouvement l'électricité à l'origine de chaque nerf, laquelle est transmise immédiatement par le nerf même au muscle correspondant.

On est d'autant plus porté à admettre cette hypothèse, que la substance qui se trouve sous le névrilème étant la même que celle qui constitue la matière cérébrale, le passage de l'électricité du cerveau, dans le nerf, doit se faire sans difficulté.

Pour soutenir cette opinion, j'ai appelé à mon aide les phénomènes électriques de la torpille, dont l'analyse prouve que l'électricité, qui se trouve dans les organes particuliers, émane bien du cerveau.

La différence qui paraît exister entre les poissons électriques et les autres animaux, c'est que dans les premiers la nature y a placé des organes propres à condenser l'électricité provenant du cerveau pour augmenter sa tension, de manière à en faire une arme offensive, tandis que dans les seconds cette même électricité n'a que la tension nécessaire pour produire les contractions et effectuer les diverses fonctions qu'elle est chargée d'accomplir.

Mais on peut faire à cette théorie une objection sérieuse que je ne me suis pas dissimulée. L'expérience prouve qu'il existe une différence caractéristique entre l'action des excitants ordinaires et celle de l'électricité, quand l'une et l'autre s'exercent

au-dessus d'une ligature pratiquée en un point quelconque du trajet du nerf. Dans le premier cas, le muscle situé au-dessous de la ligature reste tranquille, tandis que dans le second il se contracte vivement. Dans les mêmes circonstances, l'acte de la volonté est également sans action. Voici maintenant comment nous concevons cette différence : lorsqu'on fait passer un courant dans un nerf, pendant un temps très-court, mais fini, la quantité d'électricité qui s'écoule est immense, puisque la vitesse de l'électricité est pour ainsi dire infinie. Or, dans l'acte de la volonté, il est très-probable que l'on n'a qu'une décharge instantanée, due à une quantité d'électricité considérablement moindre que celle dont nous disposons; dès lors on conçoit que les effets physiologiques ne soient pas les mêmes dans les deux cas.

La dernière partie de l'ouvrage a été consacrée à exposer les applications de l'électricité à l'art de guérir. Pour procéder avec méthode, j'ai fait connaître le résultat des recherches qui ont été faites, touchant l'action de l'électricité voltaïque sur les matières animales, lorsqu'elles ne sont plus sous l'empire de la vie et quand elles y sont soumises. Dans l'un et l'autre cas on parvient à retirer, au moyen des courants électriques, les acides, les alcalis et les terres qu'elles renferment.

J'ai exposé ensuite comment l'albumine se coagule sous l'influence d'un courant voltaïque à chacun des pôles de l'appareil.

Les tentatives que l'on a faites pour constater l'existence de courants électriques permanents dans

l'intérieur du corps de l'homme et des animaux, n'ont pas été satisfaisantes. On a supposé depuis longtemps qu'il pourrait bien exister dans le système des sécrétions animales une influence semblable à celle de l'appareil voltaïque, qui tendrait à séparer les éléments des corps soumis à son action ; que la surabondance d'acide, dans l'urine, paraissait indiquer dans les reins un état d'électricité positive, et que puisque la proportion d'alcali était plus considérable dans la bile que dans le sang, il ne serait pas impossible que les vaisseaux du foie fussent dans un état négatif; mais ce ne sont là encore que des conjectures qui n'ont pas fait faire un pas à la science, depuis qu'elles ont été imaginées.

Les expériences du Dr Wilson Philip, relatives aux moyens de rétablir, par l'action de l'électricité, les fonctions de l'estomac, quand on fait la section de la 8e paire de nerfs, avaient d'abord paru un fait favorable à cette conjecture; mais depuis que plusieurs physiologistes ont prouvé que l'électricité n'agissait, dans cette circonstance, que comme force mécanique, les physiciens restent dans le doute sur les conséquences que l'on doit tirer des expériences du docteur anglais. Quoi qu'il en soit, nous pensons que l'électricité intervient très-probablement dans la production des sécrétions, mais d'une manière qui nous est inconnue.

Quant aux effets résultant de l'application de l'électricité à la médecine, c'est encore là un point de controverse entre les physiologistes. Cependant il existe bon nombre d'observations qui ten-

dent à prouver que son influence ne saurait être révoquée en doute dans quelques circonstances, surtout dans les maladies nerveuses.

L'électricité agissant de deux manières sur l'économie animale, soit en produisant des contractions et autres dérangements dans l'équilibre des parties organiques, soit en faisant naître des réactions chimiques qui favorisent les sécrétions ou nuisent à leur développement, quiconque veut essayer de retirer des avantages de l'application des forces électriques à l'art de guérir, doit avant tout acquérir une connaissance approfondie des propriétés générales de l'électricité, agissant comme force physique, ou comme force chimique.

Si l'on ne possède que des notions superficielles, on court le risque de porter le désordre là où l'on veut rétablir l'harmonie. J'ai indiqué les moyens à employer pour agir avec le plus d'efficacité possible sur l'économie animale. Ce moyen, sans contredit, est celui qui a été imaginé par M. Sarlandière, lequel consiste à introduire des aiguilles d'acier ou de platine, en communication avec une pile, dans les parties où l'on veut opérer. Le circuit étant interrompu, à des intervalles plus ou moins rapprochés, donne aux parties intérieures des commotions plus ou moins rapides, qui produisent des effets salutaires quand les parties se trouvent dans un état d'atonie passager. C'est ainsi que plusieurs physiologistes, et entre autres M. Magendie, ont obtenu des résultats satisfaisants dans des amauroses incomplètes, dans des névralgies et enfin dans diverses maladies où les nerfs sont affectés. M. le Dr Palaprat a trouvé, dans

l'électricité, un moyen très-simple d'appliquer instannément un moxa dans les régions les plus profondes du corps, en y introduisant une aiguille de platine en communication avec l'un des pôles d'une pile composée d'éléments à larges surfaces, dont l'autre pôle communique avec une autre partie du corps. A l'instant où la communication est établie, l'aiguille s'échauffe jusqu'à l'incandescence et brûle les chairs contiguës en produisant une vive douleur, de très-courte durée.

La paralysie est l'affection qui a le plus occupé les personnes qui ont appliqué l'électricité à la médecine; tantôt des résultats satisfaisants ont été obtenus, tantôt il y a eu absence d'effets. On est donc porté à croire que le traitement électrique ne réussit que dans le cas où la paralysie est incomplète. J'ai indiqué les divers modes à l'aide desquels on applique cet agent dans les cas de paralysie. J'ai signalé surtout, comme très-rationnel, celui qui est indiqué par M. Nobili. Cet habile physicien distingue les effets produits par l'action continue du courant de ceux qui ont lieu quand l'action est interrompue à des intervalles plus ou moins rapprochés. Dans le premier cas, l'électricité tend à ôter au nerf une partie de son irritabilité; dans le second, elle produit une action contraire, puisqu'elle met en jeu l'excitabilité du nerf au point de faire naître le tétanos artificiel.

J'ai donné ensuite quelques développements sur les moyens de faire agir l'électricité, comme force chimique, et d'introduire dans l'intérieur du corps différents agents propres à réagir sur eux.

D'après l'esquisse rapide que je viens de présenter des matières qui sont traitées dans ce volume, on voit que j'ai dû entrer dans des détails d'anatomie et de physiologie qui ne se trouvent pas ordinairement dans les traités de physique, mais que l'état actuel de la science rend indispensables, si l'on veut essayer de découvrir les liens qui rattachent à l'électricité plusieurs des grands phénomènes de la nature organique. En résumé, loin de mériter le reproche, que quelques personnes m'ont adressé, d'avoir introduit dans les trois premiers volumes de mon Ouvrage, des considérations étrangères au sujet que j'avais en vue, je crois au contraire que ces considérations devaient s'y trouver d'après le plan que je me suis tracé, et auquel je n'apporterai aucun changement.



DE LA MESURE
DES TEMPÉRATURES
A L'AIDE
DES EFFETS THERMO-ÉLECTRIQUES.

LIVRE VII.

CHAPITRE PREMIER.

DE LA MESURE DES HAUTES TEMPÉRATURES.

§ 1er. *Description du procédé.*

632. Nous avons vu, dans le Livre précédent, comment on pouvait faire servir les piles thermo-électriques à la détermination des plus faibles changements de température dans les corps. Nous allons décrire actuellement le procédé à l'aide duquel on apprécie les températures les plus élevées et les températures ordinaires en fonction des degrés du thermomètre centigrade. On est dans l'usage de mesurer les températures d'un corps par les changements de volume qu'il éprouve, quand on lui enlève ou qu'on lui communique de la chaleur; mais on ne peut le faire qu'autant que la même quantité de chaleur fait varier exactement de la même manière ce volume; ce qui n'a pas lieu pour le même corps à toutes les températures. L'air paraît faire exception: sa dilatation est uniforme jusqu'à des températures élevées; mais on n'a pu déterminer encore la limite où la loi cesse d'a-

voir lieu, puisque le thermomètre à mercure ne peut servir de guide au delà de 350 degrés, terme de son ébullition. Le thermomètre à air serait donc le meilleur instrument dont on pourrait se servir pour mesurer les températures les plus basses et les plus élevées, si l'on avait un moyen de le graduer au delà de certaines limites.

633. On peut remplacer le thermomètre à air par un autre appareil, dans lequel les effets thermo-électriques produits dans un circuit composé de deux fils de métal différent, réunis bout à bout et dont les points de jonction n'ont pas la même température, représentent la différence des deux températures. Bien entendu qu'il faut supposer, comme pour le thermomètre à air, que la loi qui exprime les rapports entre les effets thermo-électriques et les températures n'éprouve pas de variations sensibles, dans tous les cas où l'on opère; mais on diminue les chances d'erreurs, quand on veut évaluer les hautes températures, en prenant deux métaux possédant à peu près les mêmes propriétés physiques et chimiques, et dont le terme de fusion est très-éloigné. Soit un circuit composé d'un fil de platine et d'un fil de palladium, ayant chacun un tiers de millimètre de diamètre environ, réunis par un de leurs bouts, au moyen d'un nœud, et dont les deux autres sont en communication avec un multiplicateur. Ce circuit jouit de la propriété, quand on porte la température de l'une des jonctions depuis 0 jusqu'à 350 degrés, la température de l'autre jonction étant à 0, de produire un courant électrique dont l'intensité croît proportionnellement à la température. Cette propriété appartient encore à un circuit composé de deux fils de platine, qui ne sont pas identiquement les mêmes. Cet appareil est employé avec avantage pour mesurer les hautes températures, en admettant toutefois la loi de la proportionnalité; puisqu'il suffit de maintenir l'une des soudures à une température constante, et de plonger l'autre dans le milieu qu'on veut explorer.

§ II. *De la température des diverses enveloppes d'une flamme et de celle des fourneaux.*

634. Nous allons nous servir de cet appareil pour déterminer la température que prennent les points de jonction des deux fils que l'on plonge successivement dans les diverses enveloppes qui composent la flamme d'une lampe à alcool, et dans un fourneau à réverbère.

On sait qu'une flamme, en général, particulièrement celle d'une bougie ou d'une lampe à alcool, est formée de plusieurs divisions inégales, parmi lesquelles on en distingue aisément quatre. La première, qui est à la base, est d'un bleu sombre, et s'amincit à mesure qu'elle s'éloigne de la mèche; la deuxième est l'espace obscur au milieu de la flamme; la troisième, l'enveloppe brillante qui recouvre cette dernière, et qui est la flamme proprement dite; enfin la quatrième, qui est l'enveloppe peu lumineuse située autour de la flamme. On place d'abord une des jonctions des 2 fils, ayant chacun $\frac{1}{3}$ de millim. de diamètre, à la limite supérieure de la flamme bleue, où l'air, encore chargé de tout son oxigène, commence à rencontrer la flamme. On trouve que l'aiguille aimantée est déviée de 22°, 50. Quand l'immersion se fait dans la partie blanche, ou dans la flamme proprement dite, on trouve que l'aiguille est déviée de 20°; enfin, lorsqu'elle se trouve dans l'espace obscur autour de la mèche, elle ne se dévie plus que de 17°: or, quand on élève les points de jonction des 2 fils platine et palladium à 300°, on a une déviation de 8°, qui correspond à une intensité 12 du courant thermo-électrique. En admettant la loi de continuité, dont nous avons parlé précédemment, on trouve que les intensités correspondantes aux déviations 22°, 50, 20° et 17, peuvent être représentées par les nombres 54, 44, 32, et les températures correspondantes par 1350, 1080, 780°. Il faut admettre, bien entendu, comme nous venons de le dire, que si la force 12 est produite par une température de 300, la force 48 le sera par une température 4 fois plus considérable. Si la loi de continuité est

exacte, il s'ensuit que 1350° est la température la plus élevée que puisse prendre un fil de platine de $\frac{1}{7}$ de millimètre de diamètre, dans une flamme à alcool de 6 millimètre de diamètre, à la partie supérieure de la mèche. S'il était possible de négliger la déperdition de chaleur qui s'effectue à la surface des parties contiguës aux portions immergées, les températures que nous venons de trouver pourraient représenter approximativement celles des diverses enveloppes de cette flamme, où les points de jonction des deux fils ont été successivement placés : quoique les deux métaux soient d'assez mauvais conducteurs de la chaleur, on ne sait si la déperdition est assez faible pour qu'on puisse la négliger; mais comme on obtient le même résultat avec deux fils de platine de diamètre différent, réunis bout à bout, d'un diamètre moindre de $\frac{1}{3}$ de millim., on a des raisons suffisantes pour admettre que la loi qui exprime le rapport entre les effets thermo-électriques et les températures correspondantes peut être appliquée ici.

635. Si l'on veut mesurer la température d'un fourneau à réverbère, on prend deux fils de platine, d'un $\frac{1}{2}$ millimètre de diamètre, provenant de deux préparations différentes, afin qu'il n'y ait pas identité entre eux. On peut se servir encore de platine mou et de platine dur, noms que l'on donne dans le commerce au métal selon qu'il est pur ou allié à un autre métal. On enroule l'un sur l'autre un bout de chaque fil, afin d'éviter une soudure, et les deux bouts libres sont mis en communication avec le multiplicateur, puis l'on place les points réunis dans le foyer de chaleur; le reste de l'expérience se fait comme il a été dit précédemment.

Voici les résultats d'une expérience que j'ai faite à la manufacture de Sèvres, conjointement avec M. Brongniart, dans le grand fourneau à réverbère servant à cuire la porcelaine, qui était en grand feu depuis cinq ou six heures. Les points de jonction furent placés à un mètre de profondeur dans l'intérieur du fourneau et à un mètre au-dessus du sol; puis les deux bouts du fil de platine mixte furent mis en communication avec le

multiplicateur. La déviation de l'aiguille aimantée fut aussitôt de 24°; elle augmenta peu à peu, et, une heure et demie après, elle était de 25°; une demi-heure après de 26°; une heure après de 27, et enfin une demi-heure après de 27°. Le fourneau devait rester en feu encore au moins trois heures, pour que la porcelaine fût cuite.

Les points de jonction des deux fils de platine ayant été retirés du foyer de chaleur, ils furent plongés dans de l'eau bouillante; les autres jonctions des mêmes fils avec celui du multiplicateur se trouvaient dans un milieu dont la température était de 22°. Le courant produit dans cette circonstance, qui était dû à une différence de température égale à 78°, a donné une déviation égale à un degré; en partant de là et du rapport constant entre la température et l'intensité du courant thermo-électrique, on a formé le tableau suivant :

DÉVIATION de l'aiguille aimantée.	INTENSITÉ du courant thermo-électrique correspondant.	TEMPÉRATURE correspondante en degrés centigrades.
1	1	70°
24	26°70	2082°60
25°50	29°60	2308°80
26	30°00	2340°00
27	31°70	2472°60
27°50	32°60	2542°80

On voit par le dernier résultat que le fourneau a donné, 8 heures après la mise en grand feu, une température de 2542°, 80 centigrades mesurés à l'appareil thermo-électrique. Il est probable que si l'on eût continué l'opération pendant trois heures, on aurait eu un accroissement de température de plusieurs centaines de degrés. En se servant du même appareil pour apprécier la température la plus chaude de la flamme d'une lampe à alcool, ayant 12 mill. vis-à-vis du bout de la mèche, on a obtenu en-

viron 1700° centigrades. Il est à désirer que l'on puisse varier ces expériences, en employant comparativement un thermomètre à air, quand il s'agit des fourneaux, afin que l'on puisse acquérir quelques notions certaines sur la valeur approchée des hautes températures, en fonction des degrés du thermomètre ordinaire.

Dans le cas où l'on voudrait mesurer la température d'une matière métallique en fusion, il faudrait passer les points de jonction dans un tube en porcelaine.

§ III. *De la mesure des températures inférieures à* 100°.

636. Pour mesurer des températures au-dessous de 100° et apprécier de faibles différences, il faut prendre des métaux doués d'un fort pouvoir thermo-électrique, quand ils sont associés ensemble, tels que le fer et le cuivre. On peut faire usage d'un circuit de ce genre pour évaluer la température du globe à diverses profondeurs, celles de la mer et des lacs qui ne dépassent pas une certaine profondeur, car le fer étant mauvais conducteur, lorsque ce circuit a une grande longueur, l'intensité du courant devient très-faible pour quelques degrés de différence de température entre les deux soudures; au delà de 400 pieds, quand chaque fil a 1 millim. de diamètre, les effets thermo-électriques sont peu sensibles pour des différences de 10 à 15 degrés. On peut, à la vérité, étendre cette limite en prenant des fils d'un plus gros diamètre; mais alors l'appareil devient difficile à manœuvrer.

Pour éviter, quand les métaux plongent dans l'eau, des courants électro-chimiques qui passent en partie dans le circuit, il faut les soustraire à l'influence de l'eau et des substances qu'elle tient en dissolution: on y parvient en étamant les fils dans toute leur longueur, les recouvrant de soie, et les enveloppant de goudron. La soudure est également revêtue. Ces précautions prises, l'appareil ne peut plus accuser que des courants thermo-électriques, toutes les fois qu'il existe une différence de température entre les deux soudures.

Les fils sont enroulés sur une roue à gorge, traversée par un axe appuyé sur deux montants, auquel on imprime un mouvement de rotation au moyen d'une manivelle. Cet appareil (fig. 1) peut être utile en plusieurs circonstances, lorsqu'il s'agit, par exemple, d'étudier les variations qu'éprouve la température de la terre à une profondeur trop grande pour y placer à poste fixe un thermomètre. En donnant au double fil une vingtaine de mètres de longueur, on peut obtenir des fractions de degré.

On introduit, à cet effet, l'une des soudures dans un trou convenablement pratiqué, que l'on remplit ensuite avec les substances qui en ont été retirées. Les déviations de l'aiguille aimantée indiquent naturellement la différence entre la température de l'air où se trouve une des soudures, et celle de la région où est placée l'autre soudure. La température de l'air étant connue, on en déduit immédiatement celle de cette région; dès lors, rien n'est plus facile de voir si celle-ci éprouve ou non des variations.

On peut encore obtenir la température de la mer et celle des lacs, jusqu'à une profondeur de 150 à 200 mètres : on attache pour cela un lest quelconque à l'une des soudures, une pierre, par exemple, du poids de 2 kil. environ, puis on descend lentement le double fil dans l'eau : l'appareil accuse immédiatement l'abaissement de température du liquide, à mesure que l'on descend les points de jonction fer et cuivre. C'est là un avantage que ne sauraient donner les thermomètres à minima, attendu qu'il leur faut un certain temps pour prendre la température ambiante, et que l'on est obligé de faire une expérience chaque fois que l'on change de milieu.

Voici les résultats d'une expérience que j'ai faite, conjointement avec M. Breschet, dans le lac de Genève, à 6 mètres environ de l'escarpement du rocher sur lequel est construit le château de Chillon. L'une des soudures du circuit se trouvait dans l'arsenal du château, dont la température était de 14° 80 cent. Une expérience préalable avait appris qu'un degré de déviation de

l'aiguille aimantée correspondait à 1° 10 de température centigrade. L'autre soudure fut placée successivement à diverses profondeurs; et nous obtînmes les résultats consignés dans le tableau suivant :

PROFONDEUR.	DÉVIATION.	TEMPÉRATURE CORRESPONDANTE.
104 mètres.	... 7,50 à gauche.	 6,50
80	... 7,50	 6,50
60	... 6,50	 7,60
40	... 5	 9,00
20	... 3	 12,30
A la surface.....	... 4,50 à droite..	 19,80

Ces résultats nous indiquent que la diminution de la température dans les eaux du lac, où affluent continuellement des eaux provenant de la fonte des neiges qui recouvrent les cimes des Alpes, ne suit pas une loi uniforme, et qu'à 104 mètres de profondeur, la température n'est plus que de 6° 50, au lieu de 5° 60 que Saussure a trouvés dans diverses parties du lac de Genève, à 2 ou 300 pieds de profondeur et loin des bords.

Nous ferons remarquer que notre expérience a été faite tout près du rocher de Chillon, qui possède une température propre, laquelle augmentant à mesure que l'on s'éloigne de la surface du sol, doit réchauffer nécessairement l'eau environnante.

Ce qui porte à croire que cette explication est fondée, c'est que Saussure a obtenu dans le lac Majeur, situé sous un climat plus doux que le lac de Genève, et qui reçoit également les eaux provenant de la fonte des neiges, à 335 pieds de profondeur, une température de 6° 75, la température de la surface de l'eau étant de 25 degrés. Cet exemple prouve que l'influence des causes qui tendent à réchauffer quelquefois l'eau des lacs, s'étend jusqu'au delà de 100 mètres.

CHAPITRE II.

DE LA MESURE DES TEMPÉRATURES DES PARTIES INTÉRIEURES DES CORPS ORGANISÉS.

§ Ier. *Description des appareils.*

637. Les expériences qui ont été faites jusqu'ici sur la chaleur des animaux, et en pariculier sur celle des végétaux, sont peu nombreuses et surtout peu concluantes. Les moyens employés ne permettaient pas de réunir un grand nombre d'observations. En effet, le thermomètre, seul instrument dont on puisse disposer, n'est introduit directement que dans quelques parties. Veut-on pénétrer dans l'intérieur des organes, on est forcé de les inciser et par conséquent de les altérer; dès lors le trouble qui en résulte produit des effets calorifiques qu'il est impossible de distinguer de ceux qui sont propres à la vitalité. D'un autre côté, le thermomètre, quelque petit que soit son réservoir, a l'inconvénient de présenter une masse qui absorbe une assez grande quantité de chaleur pour se mettre en équilibre de température avec les parties adjacentes; si ces mêmes parties ne peuvent recouvrer immédiatement la chaleur qu'elles ont perdue, il en résulte nécessairement un abaissement de température. Le thermomètre ne peut non plus accuser des changements brusques, puisqu'il lui faut plusieurs minutes pour se mettre en équilibre de température avec les milieux ambiants. Si l'on place, par exemple, un thermomètre dans la bouche, il s'écoule 10 minutes avant qu'il ait pris sa température; or, si pendant ce temps il se

produit des phénomènes thermo-physiologiques de peu de durée, il est impossible de les reconnaître. Nous ferons encore remarquer que, lors même qu'on pourrait introduire le thermomètre, à l'aide d'incisions, dans certaines régions, il serait impossible d'opérer sur les organes essentiels à la vie des animaux, tels que le cœur, les poumons, le foie, le cerveau : et c'est cependant là que le physiologiste a le plus d'intérêt de savoir comment la température y est modifiée par le mouvement, le développement des passions, l'application de certains agents, etc. Il est important en outre, pour la physiologie et l'art de guérir, de résoudre toutes les questions relatives à la chaleur animale ; de déterminer, par exemple, la différence qui existe entre la température d'un organe à l'état normal et celle du même organe à l'état pathologique.

638. Pour explorer la chaleur animale de manière à atteindre le but proposé, on ne peut qu'introduire une aiguille ou sonde métallique, plus ou moins déliée, semblable à celle dont on se sert pour l'acupuncture, car on ne connaît aucun autre moyen de traverser impunément la plupart des organes des animaux. Il est facile en outre de disposer cette aiguille de manière à obtenir des effets thermo-électriques qui donnent immédiatement, et avec une grande exactitude, la température du milieu où se trouve, soit la pointe, soit toute autre partie de cette aiguille. Il suffit de composer celle-ci de deux aiguilles de métal différent, soudées par un de leurs bouts, ayant un demi-millimètre de diamètre et même moins et chacune un décimètre de longueur au moins. On remplace quelquefois ces aiguilles par d'autres qui sont soudées par un de leurs bouts dans le sens de leur longueur et séparées partout ailleurs qu'à la pointe par une membrane très-mince. Les deux autres bouts sont mis en communication chacun avec l'une des extrémités du fil d'un excellent multiplicateur thermo-électrique. L'une des aiguilles est en acier et l'autre en cuivre. Les plus faibles différences de température aux points de jonction donnent

naissance à un courant électrique qui, en réagissant sur l'aiguille aimantée, la fait dévier d'un certain nombre de degrés. L'angle de déviation fait connaître la différence entre les températures des deux jonctions. Nous verrons plus loin comment on détermine la température de l'une d'elles, l'autre étant connue. Nous ferons remarquer qu'en général un appareil destiné à mesurer la température de divers milieux doit être construit de telle sorte que la partie qui plonge dedans ne cède pas, ou du moins ne cède que difficilement au reste de l'appareil la chaleur dont elle s'empare; si cette condition n'est pas remplie, on a toujours à craindre d'avoir une température plus basse que la véritable. C'est donc un motif pour que les aiguilles de métal, destinées à déterminer la température des corps organisés, aient le plus petit diamètre possible. Nous allons entrer dans quelques détails sur la construction et l'emploi des appareils thermo-physiologiques.

639. Le multiplicateur qui sert à déterminer l'intensité du courant thermo-électrique, doit avoir une sensibilité suffisante pour qu'en mettant en communication les deux bouts du fil qui forme son circuit avec un fil de fer, une différence de $\frac{1}{10}$ de degré de température centigrade, entre les deux soudures, fasse dévier l'aiguille aimantée d'un degré. Lorsqu'on veut opérer, on prend deux aiguilles du 1er système, semblables; l'une d'elles est introduite par la pointe acier, dans la partie du corps dont on veut déterminer la température, en ayant l'attention de placer la soudure au milieu même de cette partie; l'autre est mise en communication avec la première, par le bout acier, au moyen d'un fil d'acier; puis l'on met en communication les deux bouts libres avec les extrémités des fils du multiplicateur. La soudure acier et cuivre qui est libre, est placée dans de la glace fondante pour que sa température reste constante. L'aiguille aimantée est déviée en raison de la différence qui existe entre la température de la partie explorée et zéro. Mais cette différence étant de 36 degrés au moins

dans l'homme, il en résulte que la déviation de l'aiguille aimantée est trop considérable pour que l'on puisse observer de faibles différences dans les températures. On est alors forcé d'avoir recours à un appareil qui donne une température constante pendant la durée de l'expérience, laquelle ne diffère que de 1 à 2° de celle que l'on cherche. Si l'on place la soudure de l'aiguille libre dans cet appareil, on est certain que la déviation de l'aiguille aimantée n'ira pas au delà de 10 ou 20 degrés, de sorte que l'on se trouve dans les circonstances les plus favorables pour observer de faibles changements de température.

640. Nous allons donner la description de l'appareil ingénieux, à température constante, qui a été imaginé par M. Sorel, et dont la construction repose sur la dilatation de l'air renfermé en tout ou en partie sous une cloche plongée entièrement dans un liquide (1) dont on élève la température au degré nécessaire. La cloche communique avec un registre qui agit au besoin sur le courant d'air, pour diminuer ou augmenter la combustion.

On fait fonctionner ce régulateur à une température donnée, soit en renfermant une quantité d'air plus ou moins grande sous la cloche, soit en la chargeant plus ou moins de poids disposés convenablement, de sorte qu'elle soit en équilibre dans le liquide lorsque la température est au degré que l'on veut fixer. La cloche étant faite d'une forme régulière et son centre de gravité étant réglé vers la hauteur à laquelle l'eau s'élève dans la cloche, elle n'éprouve que très-peu de frottement; une différence de $\frac{1}{10}$ de degré de température suffit pour vaincre le frottement et faire monter ou descendre la cloche. Le régulateur est d'autant plus sensible, toutes choses égales d'ailleurs, que la quantité d'air qui fait mouvoir la cloche est plus grande. Par exemple, si cette quantité

(1) On emploie de l'eau pour les températures au-dessous de 100 degrés, et de l'huile de lin pour les températures supérieures.

d'air est seulement d'un litre, une différence de température de $\frac{1}{4}$ de degré suffira pour faire varier le poids de la cloche de près d'un gramme, ce qui est bien plus que suffisant pour déterminer le mouvement du régulateur.

Voici la description de l'appareil. La fig. 2 en représente le plan; la fig. 3 la coupe verticale. Dans les deux figures, les mêmes lettres indiquent les mêmes parties. A est le milieu dont la température doit rester constante; il est entouré de toutes parts du liquide qui transmet la chaleur. B est la cloche; elle se meut dans le liquide qui entoure le compartiment A. CC, tige de cuivre supportée par la cloche et à laquelle est adapté le diaphragme D, qui sert à ouvrir ou à fermer la communication de la chaleur avec l'appareil. Ce diaphragme, en agissant sur le courant d'air, fait aussi varier le volume de la flamme et maintient la combustion proportionnellement à la déperdition de la chaleur et à la température que l'on veut fixer. E est un tube avec un bouchon rodé pour lâcher de l'air de dessous la cloche; FF, des poids, en forme de disque, percés, qui servent à mettre la cloche en équilibre à la température que l'on veut fixer; ils sont posés sur un petit couvercle qui laisse échapper de la vapeur, pour éviter dans certains cas une augmentation de température par l'effet de la chaleur acquise de l'appareil de combustion et des parties voisines; G, un réservoir d'air communiquant avec la cloche, et destiné à rendre sensible au régulateur le moindre changement de température dans le milieu A; HH, anneau de plomb qui augmente le poids de la cloche et en règle le centre de gravité; I, une lampe à niveau intermittent; le bec est au milieu d'un grand disque, surmonté d'un cercle, ne laissant entrer l'air, qui alimente la lampe, que par l'entaille J.

Cet appareil n'est réglé définitivement qu'une demi-heure après qu'il a commencé à fonctionner; ensuite il ne varie de temps à autre que de $\frac{1}{10}$ de degré, en plus ou en moins; souvent aussi la variation n'est pas appré-

ciable dans l'espace d'une heure. Si par hasard il y avait un accroissement de température un peu sensible, il faudrait baisser un peu la mèche, que l'on taille d'ordinaire en biseau, pour n'avoir au besoin qu'un seul filet lumineux. Avec un peu d'habitude on se familiarise avec la manœuvre de cet instrument, dont les physiciens et les naturalistes se serviront dans une foule de cas.

641. Supposons que l'on ait obtenu un certain nombre de déviations, pour remonter aux températures auxquelles elles correspondent. On place la soudure, qui était dans la partie animale, dans un bain d'eau dont on élève la température jusqu'à ce que l'on ait une déviation correspondante à celle de la 1re expérience. La température de cette eau représente exactement celle de la partie explorée, puisqu'elle produit le même courant thermo-électrique. La différence entre la température de cette eau et celle de l'appareil indique sur-le-champ le rapport qui existe entre les déviations de l'aiguille et les différences de température, lequel permet de former la table des températures, c'est-à-dire la table qui indique la température correspondante à une déviation donnée.

Pour éviter que le refroidissement dans l'air des parties non immergées de l'aiguille ne donne des résultats au-dessous de leur véritable valeur, on passe les bouts libres dans des enveloppes de laine ayant la forme de gaîne.

Cette précaution n'est pas toujours suffisante, surtout quand la température de l'air est au-dessous de 10 degrés. Dans ce cas, le refroidissement se fait sentir sensiblement; aussi doit-on chercher à opérer autant que possible dans un milieu où la température soit d'environ 15°. Pour plus d'exactitude, on mesure le quantum de ce refroidissement. L'aiguille devant être détachée souvent du fil du multiplicateur, on adopte le mode de jonction suivant (fig. 4) qui permet d'effectuer facilement leur réunion et leur séparation. On contourne les deux bouts du fil de fer en spirale, en faisant l'ouverture assez petite pour que les extrémités de l'aiguille puissent y être retenues avec force après l'insertion. On nettoie souvent

l'intérieur de ces spirales en y passant une petite lime ronde, à l'usage des horlogers, que l'on roule à plusieurs reprises pour décaper les surfaces. On pourrait, à la vérité, se passer de l'appareil à température constante, en opérant encore avec deux aiguilles communiquant ensemble et en relation avec le multiplicateur, et plaçant les soudures dans deux parties du corps animal, dont la température de l'une d'elles seulement est connue; mais les effets électro-chimiques qui en résultent troublent tellement les résultats que les personnes qui ne sont pas habituées à les distinguer des effets thermo-électriques peuvent être induites en erreur.

On évite, en grande partie, cet inconvénient en recouvrant la surface de l'une des aiguilles de plusieurs couches de vernis à la gomme laque, que l'on renouvelle de temps à autre, quand le frottement les en a enlevées. Cet enduit excite un peu de douleur, lors de l'introduction des aiguilles. On peut encore éviter les effets électro-chimiques en maintenant une des soudures dans la bouche d'une personne dont on a déterminé préalablement la température, tandis que l'autre est portée successivement dans tous les milieux que l'on veut explorer; mais cette température n'étant presque jamais parfaitement constante, on ne doit l'employer qu'avec la plus grande réserve.

Nous ferons remarquer que l'on doit toujours avoir l'attention de ne jamais diminuer la longueur des fils qui servent à attacher les aiguilles, attendu que, si on la fait varier, des déviations égales ne correspondent plus à des courants égaux en intensité.

642. Le système d'aiguilles soudées par un de leurs bouts dans le sens de leur longueur, exige que l'on perfore de part en part les parties animales, afin de rendre libres les deux bouts qui doivent être mis en communication avec le multiplicateur; mais il est des cas où cette perforation n'est pas possible, lorsqu'il s'agit par exemple de déterminer la température de l'œsophage, de l'estomac, du tube intestinal; dans ce cas, il faut avoir

recours à d'autres aiguilles, qui ont la forme des sondes dont on fait usage en chirurgie (fig. 5), lesquelles aiguilles sont formées chacune de deux parties longitudinales, l'une en cuivre et l'autre en acier, terminées l'une et l'autre en pointe ou légèrement arrondies et soudées sur une étendue d'une ligne seulement, à la pointe même; tous les autres points sont séparés par une membrane isolante et résistante, telle que celle qui recouvre le dos d'une plume. Cette membrane adhère aux métaux à l'aide d'un mastic élastique, que l'on remplace de temps à autre; les deux extrémités libres de l'aiguille sont mises en communication comme à l'ordinaire avec le multiplicateur. Bien entendu que la forme de la sonde varie suivant la cavité dans laquelle elle doit être introduite. On a toujours à craindre, à la vérité, avec ces sondes, que la membrane ne se déchire quelque part et que les deux parties de l'aiguille ne communiquent en d'autres points qu'à la soudure. Pour s'assurer s'il y a ou non des contacts partiels, on plonge la pointe de l'aiguille dans une masse d'eau, dont toutes les parties ont sensiblement la même température. On observe alors la déviation de l'aiguille aimantée, puis on continue à enfoncer l'aiguille de plusieurs centimètres dans le liquide; si la déviation ne change pas, on est assuré alors que les deux métaux ne se touchent qu'à leur extrémité; s'il en était autrement la déviation changerait.

Nous ferons remarquer que toutes les fois que l'on change les aiguilles, il faut s'assurer qu'elles ont toutes été construites avec des métaux provenant du même morceau, car la moindre hétérogénéité modifierait les effets thermo-électriques.

Nous avons déjà dit que l'aiguille introduite dans une partie qnelconque du corps n'accuse la température propre à cette partie qu'autant que la déperdition de la chaleur le long de la sonde est réparée immédiatement; condition qui est remplie toutes les fois qu'elle est d'un petit diamètre; mais il est nécessaire encore d'examiner jusqu'à quel point l'introduction d'un corps

étranger dans un muscle, dans un tissu ou un organe quelconque, peut modifier sa température en y excitant une inflammation passagère. Nous ferons d'abord remarquer que si une partie de la chaleur, accusée par les effets thermo-électriques, provenait de l'irritation produite par l'introduction de l'aiguille, cette chaleur devrait être d'autant plus forte que l'aiguille serait plus grosse. L'expérience prouve qu'il n'en est pas ainsi; nous voyons par là que la présence d'aiguilles dans les muscles et autres parties du corps ne paraît pas modifier sensiblement leur température; il est facile de concevoir ce fait; les aiguilles, lors de leur introduction, écartent seulement les parties et n'y produisent par conséquent aucun désordre capable de troubler leur arrangement organique et de modifier leur température.

§ II. *Résultats de plusieurs expériences.*

643. Pour que le lecteur puisse se faire une idée nette du mode d'expérimentation décrit ci-dessus, il peut consulter la fig. 6, où l'on a représenté les détails de l'expérience décrite précédemment. ABCD est l'appareil à température constante, dans lequel se trouve l'aiguille *a' c' b'*; *a b* l'aiguille qui est introduite dans un des muscles du bras et MM le multiplicateur. Voici les résultats que j'ai obtenus, conjointement avec M. Breschet, dans une suite d'expériences que nous avons faites ensemble, sur trois personnes, que nous désignerons par A, B, C, les deux premières âgées de vingt ans, et la dernière de cinquante-cinq ans.

1re série d'expériences. — Température de l'air, 12° centigrades.

DÉSIGNATION DE LA PARTIE.	TEMPÉRATURE CENTIGRADE.	DIFFÉRENCE.
Biceps brachial de A...	..... 36°53	
Tissu cellulaire adjacent.	..... 34 70	... 1°83
Bouche.............	..... 36 80	
Biceps brachial de B...	..... 36 83	
Tissu cellulaire adjacent.	..... 35 45	... 1°38
Bouche.............	..... 36 70	
Biceps de C..........	..... 36 77	
Tissu cellulaire.......	..... 35 33	... 1°44
Bouche.............	..... 37 00	
Chien noir.		
Muscle fléchisseur de la cuisse............	..... 38 40	
Tissu cellulaire du cou..	..... 37 00	... 1°40
Abdomen............	..... 38 50	
Poitrine.............	..... 38 40	
Autre Chien.		
Muscle de la cuisse.....	..... 38 00	
Poitrine.............	..... 37 00	
Abdomen...........	..... 38 10	

2e SÉRIE D'EXPÉRIENCES. — Température de l'air, 12° centigrades.

DÉSIGNATION DES PARTIES.	TEMPÉRATURE CENTIGRADE.	DIFFÉRENCE.
Biceps de B...........	..... 36°83	... 1° 25
Tissu cellulaire.........	..... 35 58	
Le mollet.	..... 36 90	... 1° 63
Bouche................	..... 37	
Biceps de C...........	..... 36 90	
Tissu cellulaire........	..... 35 53	
3e Exp. Chien noir, déjà soumis à l'exp.		
Muscle de la cuisse.....	..... 38 60	

3e SÉRIE D'EXPÉRIENCES.

DÉSIGNATION DES PARTIES.	TEMPÉRATURE CENTIGRADE.	DIFFÉRENCE.
Bouche de B..........	..... 36° 85	
Bouche de A..........	..... 36 95	
Bouche de B..........	..... 37 0 mesuré au ther.	
2e Exp.		
Biceps de B..........	..... 37 10	... 1° 62
Tissu cellulaire........	..... 35 48	
3e Exp. Carpe (*cyprinus carpio.*)		
Diverses régions.......	..... 13 50	... 0° 50
Eau.................	..... 13 00	

4e SÉRIE D'EXPÉRIENCES.

DÉSIGNATION DES PARTIES.	TEMPÉRATURE CENTIGRADE.	OBSERVATIONS.
CHIEN CANICHE.		La température a baissé subitement de plusieurs degrés, et quelques minutes après l'animal n'existait plus.
Muscle de la cuisse.....	..... 38° 25	
Poitrine.............	..... 38 85	
Le cerveau. On a pratiqué dans le crâne deux couronnes de trépan pour laisser passer les deux bouts de la sonde.	..... 38 85	

Nous tirons les conséquences suivantes des résultats consignés dans les tableaux précédents : 1° il existe une différence bien marquée entre la température des muscles et celle du tissu cellulaire dans l'homme et les animaux, laquelle paraît dépendre de la température extérieure, de la manière dont l'individu est vêtu et de plusieurs autres causes. Cette différence dans l'homme et probablement dans les animaux est en faveur des muscles; les corps vivants se trouvent donc dans le cas d'un corps inerte, dont on a élevé la température et qui est soumis à un refroidissement continuel de la part du milieu dans lequel il se trouve; ce refroidissement se fait sentir d'abord à la surface, puis gagne successivement les couches intérieures jusqu'au centre; mais dans les animaux la loi de déperdition ne peut être la même que dans les corps inorganiques, puisqu'il y a dans les premiers une cause réparatrice qui agit constamment; 2° la température moyenne des muscles de deux jeunes hommes a été trouvée d'environ 36,77 centigrades; 3° celle des muscles de plusieurs chiens de 38,30; 4° dans le chien, la température de la poitrine, celle de

l'abdomen et du cerveau sont sensiblement les mêmes et égales à celle des muscles. Nous considérons toujours le chien dans l'état sain. 5° La carpe ordinaire ne nous a donné qu'une différence de $\frac{1}{2}$ degré entre la température de son corps et celle de l'eau en faveur de la carpe.

644. La température des muscles, avons-nous dit, éprouve des changements en vertu de plusieurs causes physiques, parmi lesquelles nous distinguerons les contractions, le mouvement et la compression. Supposons que l'une des soudures soit maintenue à une température fixe de 36° degrés, et que l'autre soit placée dans le muscle brachial, le bras étant tendu, l'aiguille aimantée est déviée de 10° environ. Si l'on ploie alors l'avant-bras, de manière à contracter le muscle, la déviation augmente aussitôt de 1 à 2 degrés du multiplicateur. On attend que l'oscillation et son retour soient achevés, et à l'instant où elle recommence on ploie de nouveau le bras afin de donner une nouvelle impulsion à l'aiguille aimantée. En continuant ainsi on finit par obtenir une déviation de 15°, qui donne une différence de 5° avec la déviation primitive, laquelle différence correspond à une augmentation de $\frac{1}{2}$ degré de température centigrade. On voit par là que les contractions jouissent de la propriété d'augmenter la température des muscles.

Une des soudures se trouvant toujours dans le muscle biceps, si avec le bras correspondant on scie pendant 5 minutes un morceau de bois, la température monte d'une quantité notable, qui va quelquefois jusqu'à un degré. L'agitation, le mouvement, et en général tout ce détermine un afflux de sang, tend donc à élever la température des muscles.

On peut reconnaître aussi, avec le même appareil, que la compression d'une artère diminue au contraire la température des muscles situés au-delà du vaisseau adjacent. La soudure se trouvant encore dans le muscle biceps, ou mieux encore dans le muscle de l'avant-bras, si l'on comprime fortement avec les mains l'artère hu-

mérale, le mouvement de l'aiguille aimantée annonce immédiatement un abaissement de température de quelques dixièmes de degré.

Nous sommes entrés dans quelques détails sur le procédé thermo-électrique à l'aide duquel on mesure la température animale, parce que nous avons voulu faire ressortir tous les avantages que l'on en retire pour la physiologie. Nous y reviendrons encore en traitant des contractions.

DE LA

PHOSPHORESCENCE.

LIVRE VIII.

CHAPITRE PREMIER.

PRINCIPES GÉNÉRAUX.

§ Ier. *Exposé.*

645. La phosphorescence est la propriété que possèdent la plupart des corps de devenir lumineux dans l'obscurité ou au jour, par la chaleur, le frottement, le choc, la compression, les décharges électriques ou l'action chimique. La durée, la couleur et l'intensité de la lumière dégagée dépendent de la nature des corps, de l'état de leur surface et de l'énergie avec laquelle agit la cause productrice. La ressemblance de cette lumière avec celle qui se manifeste dans le dégagement de l'électricité, est si frappante, que les physiciens du siècle dernier durent lui supposer une origine semblable; mais alors la science n'était pas assez avancée pour qu'ils pussent donner une théorie satisfaisante de cet intéressant phénomène.

Il est maintenant parfaitement démontré que l'équilibre du principe électrique est troublé dans les corps, toutes les fois que leurs parties constituantes éprouvent

un changement quelconque, soit dans leur position naturelle d'équilibre, soit dans leur combinaison; or, ce sont précisément là les causes qui produisent aussi la phosphorescence. D'un autre côté, la lumière phosphorique a des teintes aussi variées que celles que présente l'étincelle électrique et dans des circonstances à peu près semblables. Ce double rapprochement va nous servir de point de départ pour établir l'identité entre ces deux lumières.

646. Toutes les causes qui troublent l'équilibre des deux fluides électriques dans les corps, ne rendent libre une portion de chacun d'eux, qu'autant que l'on sépare les parties constituantes; néanmoins il peut y avoir émission de lumière. Cela se conçoit : si les particules qui ont été ébranlées reprennent, après plusieurs oscillations, leur position d'équilibre, il y a recomposition immédiate des deux électricités, laquelle est suivie d'une émission de lumière, dans les cas surtout où les corps sont mauvais conducteurs; c'est alors qu'il y a production de phosphorescence. Quand les parties sont séparées, comme lorsqu'on clive une substance minérale, régulièrement cristallisée, conduisant mal l'électricité, telle que le mica, le talc, la chaux sulfatée, etc., non-seulement chaque partie séparée emporte avec elle un excès d'électricité contraire, mais il en résulte encore un phénomène de phosphorescence dont l'origine électrique est bien manifeste, puisqu'il est dû à la destruction de la force d'agrégation.

Ces effets nous donnent une idée de ceux qui ont lieu quand on élève la température des corps mauvais conducteurs; la chaleur, en écartant les particules, produit un clivage général, qui n'est accompagné souvent que de lumière, puisque ces particules n'étant pas séparées, il y a recomposition plus ou moins immédiate des deux électricités, devenues libres par l'effet des changements de température. Voilà donc encore une cause de phosphorescence.

Le frottement, en ébranlant également les particules,

rend libre une portion de l'électricité interposée, qui se manifeste à nous par des effets d'attraction et de répulsion, attendu que les parties frottantes et les parties frottées ne restent qu'un temps très-court en contact, et par des effets électriques lumineux qui constituent la phosphorescence.

Le frottement ne se borne pas à produire un ébranlement dans les particules, il peut encore les décomposer et en séparer les éléments; d'où résultent de nouveaux effets électriques. La théorie de la phosphorescence exige donc, avant que nous l'exposions, que nous entrions dans quelques détails sur les décompositions qui ont quelquefois lieu dans l'acte du frottement ou de la percussion.

§ II. *Des effets chimiques et des effets électriques produits dans la désagrégation mécanique.*

647. Nous citerons, comme un exemple remarquable de décomposition chimique par la désagrégation, celle qui est produite lorsqu'on brise un morceau d'antimoine natif arsénifère : on sent aussitôt une odeur alliacée qui annonce qu'une petite quantité d'arsenic a été mise en liberté.

Pour reconnaître s'il y a décomposition chimique par l'effet de la désagrégation, il faut opérer sur des substances dont les éléments, en se séparant, ne puissent pas se recombiner immédiatement, sans quoi il ne resterait aucune trace de la décomposition. Il faut prendre, par exemple, des carbonates, des silicates, des produits formés par voie ignée, etc. Les éléments mis à nu sont ou des alcalis, des terres, des bases, des oxides ou des acides, dont la quantité est souvent si petite qu'il faut employer des moyens particuliers pour en constater l'existence.

648. Les substances soumises à l'expérience sont pulvérisées dans un mortier d'agate, lavé préalablement avec le plus grand soin, à plusieurs reprises, avec de l'eau

distillée dans un alambic d'argent; leur poussière est essayée de deux manières : suivant la première, on prend une pincée de cette poussière, que l'on place avec une goutte d'eau sur une bande de papier à réactif, ou que l'on projette dans une infusion de chou rouge, de bois de campêche ou de sirop de violette. Le verre pilé, traité de cette manière, verdit le sirop de violette ainsi que le carbonate de chaux : dans le premier cas, une portion d'alcali semble être mise à nu; dans le second, c'est la chaux. Plusieurs silicates de potasse et d'alumine, tels que la stilbite et l'amphigène, donnent la même réaction, que l'on obtient encore avec des substances qui ne renferment pas d'alcali, comme la topaze et le cristal de roche. Mais si on a l'attention d'enlever, par l'action de la chaleur, sur la surface de ces derniers, les corps étrangers qui s'y trouvent, leur poussière ne donne plus la réaction alcaline.

Quoi qu'il en soit, l'emploi des infusions végétales et des papiers à réactif exige de grandes précautions, surtout lorsqu'il s'agit de constater de faibles réactions; aussi croyons-nous que le lecteur nous saura gré d'entrer dans quelques détails à cet égard, afin de lui éviter des erreurs dans lesquelles plusieurs expérimentateurs sont tombés.

M. Chevreul a reconnu que les hydrates de magnésie, d'yttria, de glucine, de zircone et d'alumine, le protoxide de zinc et son hydrate, le protoxide de manganèse, l'hydrate de protoxide de fer, les protoxides de cobalt, de nickel, de plomb, d'étain, d'antimoine, forment avec l'hématine des combinaisons bleues, insolubles dans l'eau. Ces corps se comportent donc comme des alcalis, par rapport à la matière colorante. Il en est de même des sels à base de potasse et de soude dont l'acide est faible; ces derniers font passer l'hématine à un rouge légèrement pourpre. Quelques oxides se comportent, au contraire, comme des acides, par rapport à l'hématine. Ces effets nous indiquent sur-le-champ que, dans les ex-
es entreprises dans le but de reconnaître les faibles

effets chimiques produits dans la trituration, il est indispensable de se mettre en garde contre les effets que nous venons de signaler; mais ce ne sont pas les seuls dont on doive tenir compte. Si l'on fait passer à travers un filtre de papier joseph une infusion de chou rouge ou de bois de campêche, la première devient verte et la seconde violette; ce changement de couleur, qui annonce une réaction alcaline de la part du tissu, nous avertit de ne jamais filtrer les eaux de lavage. Quand on met séparément dans de l'infusion de chou rouge, nouvellement préparée, un cristal de spath d'Islande, un fragment de calcaire compacte ou cristallin, des concrétions calcaires poreuses, de la marne, de l'arragonite ou du spath d'Islande pulvérisé, tous ces corps verdissent plus ou moins rapidement l'infusion, à l'exception du premier qui, en raison de la force coercitive de ses parties, résiste long-temps à l'action de la couleur végétale. Dans ce cas, il est probable que la matière colorante exerce une action répulsive sur l'acide carbonique, du même genre que celle de l'hématine sur les sels à base de potasse et de soude, dont l'acide est faible. Il pourrait donc se faire que le carbonate de chaux ne devînt alcalin qu'après avoir été mis en contact avec la couleur végétale.

649. Si l'emploi des matières colorantes peut laisser des doutes dans l'esprit de l'observateur, on peut avoir recours à la méthode suivante : si l'on porphyrise, dans un mortier d'agate, un cristal de mésotype, qui est un double silicate de soude et d'alumine, la poussière non-seulement donne la réaction alcaline, avec les infusions de chou rouge et de bois de campêche, mais elle réagit encore sur le papier de curcuma, ce qui n'a lieu que lorsque l'alcalinéité est assez marquée. Il est facile de prouver que l'effet produit ici est bien dû à l'alcali mis en liberté, et non à la réaction des matières colorantes sur la mésotype. Il suffit, pour cela, de laver la substance réduite en poudre, à plusieurs reprises, avec de l'eau distillée, jusqu'à ce qu'elle ne réagisse plus sur

les couleurs végétales, d'y verser quelques gouttes d'acide hydro-chlorique, de faire évaporer, puis cristalliser, on obtient alors de petits cubes de chlorure de sodium, qui prouvent que réellement, dans l'acte de la porphyrisation, il y a eu décomposition partielle du double silicate et qu'une petite portion de soude a été mise à nu.

Le basalte, le feld-spath et différentes laves, qui renferment de la potasse et de la soude, laissent échapper également, dans la trituration, une petite portion de leur alcali.

Une question se présente ici : La chaleur, qui est dégagée dans l'action mécanique, est-elle la cause de la décomposition partielle? Nous ne le pensons pas, quoiqu'elle puisse cependant exercer une certaine influence; car si l'on élève jusqu'au rouge la température d'un fragment de mésotype et qu'on le place, après le refroidissement, sur un papier à réactif, avec une goutte d'eau, il ne se manifeste aucune réaction alcaline. Nous voyons par là que la désagrégation tend à détruire en partie l'affinité des éléments qui constituent les particules des corps composés.

650. On opère également des doubles décompositions par le moyen de la trituration. Lorsque l'on broie dans un mortier d'agate, dont la surface est très-nette et très-sèche, parties égales de carbonate de baryte et de sulfate de potasse, chauffé préalablement au rouge pour en chasser l'eau interposée, il y a réaction des deux sels l'un sur l'autre; formation de sulfate de baryte d'une part et de carbonate de potasse de l'autre, dont la quantité est suffisante pour rougir assez fortement le papier de curcuma. Si l'on broie de même du carbonate de chaux et du nitrate d'ammoniaque, il y a formation de carbonate d'ammoniaque qui se dégage et de nitrate de chaux, dont il est facile de constater l'existence.

On conçoit parfaitement que le mode d'action dont il s'agit doit avoir une limite. Lorsque les parcelles des corps ont atteint un certain degré de ténuité, elles glissent sous le pilon ou la molette et ne peuvent plus se

diviser; dès lors la décomposition chimique n'a plus lieu.

J'ajouterai encore que plus le frottement est rapide, toutes choses égales d'ailleurs, plus les phénomènes chimiques sont marqués. Si l'on passe rapidement, avec pression, un cristal de sulfate de potasse sur une plaque de carbonate de chaux, le bout frotté devient assez alcalin pour rougir le papier de curcuma; l'effet est d'autant plus marqué que le mouvement a été plus rapide. Les faits précédents montrent que beaucoup de corps peuvent se décomposer par l'effet du frottement ou de la trituration, et que dès lors il en peut résulter des phénomènes électriques lumineux et par suite de la phosphorescence.

§ III. *De l'état de l'électricité dégagée dans les actions chimiques en général.*

651. Ayant déjà exposé (17—77) tous les phénomènes relatifs au dégagement de l'électricité dans les actions chimiques, nous n'y reviendrons pas. Nous avons avancé aussi (593—594) que la quantité d'électricité, que l'on suppose unie aux atomes de la matière, dans les composés, doit être énorme, ainsi que celle qui est mise en liberté à l'instant où s'effectuent les combinaisons; mais comme on ne saurait apporter trop de preuves à l'appui d'une semblable assertion, nous allons faire connaître un nouveau fait, qui viendra à l'appui de ceux que nous avons déjà présentés, en faveur de la haute condition électrique des particules de la matière. Cette haute condition électrique est d'autant plus importante à apprécier que nous la considérons, sans aucun doute, comme la cause de la phosphorescence dans les actions chimiques vives ou lentes. Supposons, un instant, que cette haute condition existe : il s'ensuit que si l'on parvient à transformer en courant toute l'électricité qui se dégage dans la combinaison de deux corps, ce courant, convenablement dirigé, sera capable de décomposer la combinaison elle-même. Or on peut réaliser en partie cette supposition,

en mettant à profit les deux électricités dégagées dans la réaction d'un acide sur un alcali; dès lors il sera prouvé qu'une quantité considérable d'électricité est associée aux particules de la matière. On prend un tube de verre, de 5 ou 6 millimètres de diamètre, rempli dans sa partie inférieure d'argile très-fine, humectée avec une solution concentrée de potasse à l'alcool, et dans sa partie supérieure d'une certaine quantité de la même solution. On plonge ce tube, par le bout préparé avec l'argile, dans un flacon rempli d'acide nitrique concentré, et l'on établit la communication entre l'acide et la solution alcaline au moyen de deux lames de platine unies ensemble avec un fil de même métal (fig. 7). A l'instant même, il y a un dégagement de gaz assez abondant sur la lame plongée dans la solution alcaline, et aucun dégagement sur l'autre lame. Le gaz recueilli est de l'oxigène pur; quant à l'hydrogène, il désoxide l'acide nitrique et donne naissance à du gaz nitreux, qui reste dissous dans l'acide nitrique. L'oxigène et l'hydrogène proviennent de la décomposition de l'eau, comme je le prouverai ultérieurement. Le courant qui a produit cette décomposition provient de la réaction de l'acide sur l'alcali, qui a rendu le premier positif et le second négatif. Cette expérience nous montre donc que l'électricité, qui est associée aux particules de l'oxide et à celles de l'alcali, peut, quand elle devient libre, à l'instant de leur combinaison, être recueillie en partie et produire un courant capable de détruire la combinaison elle-même.

652. Il est facile de concevoir maintenant ce qui se passe dans les corps mauvais conducteurs, toutes les fois que leurs particules perdent leur position naturelle d'équilibre, ou qu'elles sont décomposées. Les deux électricités dégagées ne pouvant se porter sur la surface extérieure de ces corps, restent engagées dans l'intérieur autour de chaque particule, et comme leur tension est considérable, leur recomposition doit être accompagnée d'une émission de lumière. La phosphorescence est due à un effet de ce genre, comme nous le verrons bientôt,

puisqu'elle a lieu particulièrement dans les corps mauvais conducteurs de l'électricité, qui donnent les effets lumineux les plus marqués. Avant d'exposer cette théorie, nous sommes forcés de donner aussi quelques développements sur la lumière électrique, afin d'indiquer les moyens de pouvoir comparer cette lumière à celle qui constitue la phosphorescence.

§ IV. *De la lumière électrique, considérée dans sa plus grande généralité.*

653. La lumière électrique, comme nous l'avons déjà vu (128), ne se manifeste à nos yeux que lorsque les deux fluides, ayant chacun une tension suffisante, sont en mouvement pour reformer du fluide neutre.

Cette tension, qui est nécessaire à l'électricité, pour apparaître à nos yeux sous la forme d'une étincelle, dépend de la forme des corps, de leur nature et des milieux gazeux que traverse la décharge électrique. Avec des corps anguleux il faut une tension moins forte qu'avec des corps de forme arrondie. La lumière électrique est d'autant plus brillante que les corps entre lesquels s'effectue la décharge conduisent le mieux l'électricité. Quand ces corps sont mauvais conducteurs, le courant a une faible intensité et la lumière prend une couleur rouge plus ou moins foncée. Nous retrouvons ces modifications de la lumière dans des corps qui brûlent plus ou moins lentement.

On conçoit parfaitement que la lumière devienne blanche et brillante, lorsque l'on condense l'air, et qu'elle se divise, s'affaiblisse et prenne une teinte rougeâtre quand on le raréfie. Dans le premier cas, il lui faut une plus forte tension que dans le second pour vaincre la résistance de l'air. Il résulte de là que les différents gaz n'exercent pas d'autre influence que celle qui dépend de leur densité. Dans le vide, la lumière doit être diffuse puisqu'il n'existe plus de pression qui permette à l'élec-

tricité de s'accumuler sur la surface des corps. La couleur qu'elle affecte dans ce cas dépend souvent des particules matérielles qui se trouvent dans le vide; Davy a fait à ce sujet une série d'expériences intéressantes, que nous avons fait connaître et desquelles il résulte que, lorsqu'on élève la température du mercure dans le vide barométrique, la lumière électrique se montre avec une couleur verte d'une grande intensité, par suite de la présence des vapeurs mercurielles, et que si l'on élève graduellement la température jusqu'à l'ébullition du mercure, la décharge d'une batterie voltaïque de quelques bocaux y produit une lumière de l'éclat le plus brillant, tandis qu'en refroidissant le mercure, la lumière s'affaiblit peu à peu, et qu'à 20° au-dessous de zéro, du thermomètre de Fahrenheit, la lumière est si faible qu'elle ne peut être aperçue que dans une obscurité très-profonde. D'autres expériences prouvent également l'influence des parties matérielles sur l'intensité de la lumière, mais il ne faut pas croire que ces parties soient indispensables à la production de la lumière électrique, car on peut obtenir les plus belles apparences lumineuses là où on ne peut soupçonner l'influence de corps étrangers. Il suffit, pour cela, de faire passer dans le vide, entre deux conducteurs, la décharge d'une batterie électrique fortement chargée.

654. Il ne suffit pas de pouvoir déterminer les apparences que prend la lumière électrique dans telle ou telle circonstance, il faut connaître encore sa composition, afin de pouvoir établir un jour son identité avec celle de la lumière phosphorique quand elle sera connue. La faible intensité de cette dernière n'a pas permis jusqu'ici aux physiciens de faire quelques recherches à cet égard; néanmoins nous devons donner les résultats que l'on a obtenus en analysant la lumière électrique.

Wollaston est le premier qui ait observé que le spectre résultant du passage de la lumière électrique dans un prisme, était formé d'images dont la composition n'é-

tait pas identiquement la même que celle des images du spectre solaire (1).

Frauenhofer a précisé les différences qui existent entre les deux lumières. En regardant avec une bonne lunette le spectre produit par la réfraction de la lumière électrique dans un prisme, il a reconnu qu'il différait d'une manière frappante de celui qu'on obtient avec la lumière solaire et les flammes, sous le rapport des lignes et bandes du spectre coloré. On distingue dans ce spectre plusieurs lignes en partie très-claires, dont l'une, qui se trouve dans le vert, est d'une clarté presque brillante en comparaison du reste du spectre. On observe dans l'orangé une autre ligne un peu moins lumineuse, qui paraît avoir la même couleur que la ligne claire du spectre de la lumière de la lampe. En mesurant son angle de réfraction, on trouve que cette lumière est beaucoup plus réfractée et à peu près autant que les rayons jaunes de la lumière de la lampe. A peu de distance de l'extrémité du spectre on remarque une ligne qui n'est pas très-claire, dont la lumière est aussi fortement réfractée que celle de la lumière claire de la lampe dans le reste du spectre. On peut encore distinguer très-facilement quatre autres lignes bien claires. Frauenhofer attribue la présence de ces bandes claires à des rayons de lumière simple qui n'ont pu être décomposés par le prisme.

En soumettant à l'expérience la lumière solaire, il a reconnu, à la place de la bande claire qu'il a observée entre le rouge et le jaune dans la lumière de la lampe, un nombre considérable de lignes verticales fortes et faibles, toutes plus obscures que le reste du spectre, et dont plusieurs paraissaient noires. Ces lignes se montrent toujours dans les mêmes couleurs, quelle que soit la matière du prisme; elles servent donc à caractériser la lumière solaire.

---

(1) Transact. philos., 1802, p. 380.

655. M. Wheatstone a continué les recherches de Wollaston et de Frauenhofer (1) avec un télescope muni d'un micromètre. Il a substitué à la machine électrique ordinaire un appareil électro-magnétique disposé de manière à donner une étincelle électrique ne variant pas de position. Voici les principaux résultats auxquels il est parvenu : le spectre de l'étincelle électrique tirée du mercure consiste en sept bandes définies, séparées les unes des autres par des intervalles obscurs; elles sont composées de deux bandes orangées rapprochées l'une de l'autre, d'une bande vert brillant, de deux bandes vert-bleuâtre très-rapprochées, d'une bande pourpre très-brillante, et enfin d'une bande violette. Il a obtenu, quand l'étincelle a été tirée du zinc, du cadmium, du bismuth, du plomb à l'état liquide, des résultats qui montrent que le nombre, la position et les couleurs des bandes varient pour chaque cas. Nous dirons seulement que le spectre du zinc et celui du cadmium présentent une bande rouge qu'on ne retrouve pas dans ceux des autres métaux. Il n'a trouvé aucune différence dans la composition du spectre formé avec l'étincelle provenant d'une pile voltaïque.

M. Wheatstone a voulu aussi connaître comment le passage de l'étincelle électrique dans l'air influait sur la composition de la lumière; en conséquence, l'étincelle voltaïque a été tirée du mercure dans le vide opéré avec la machine pneumatique, dans le vide de Toricelli, dans le gaz acide carbonique, etc. Les résultats ont été constamment les mêmes que ceux qu'il avait obtenus dans les expériences faites dans l'air ou dans le gaz oxigène. Il a dû en conclure que la lumière électrique n'était pas un effet de la combustion du métal, comme du reste on le savait déjà.

656. En rapportant les expériences de Frauenhofer,

(1) Association britannique pour l'avancement des sciences, 5e réunion, Dublin, août 1835.

nous avons dit que cet habile physicien avait trouvé que la lumière électrique ordinaire, examinée avec le prisme, présentait un spectre traversé par des lignes brillantes. Wheatstone, en étudiant ces phénomènes, a remarqué que ces lignes différaient en nombre et en position suivant le métal employé. Cette influence des métaux dans cette circonstance est tellement marquée, que lorsqu'on tire l'étincelle de boules de métaux dissemblables on aperçoit simultanément les lignes qui appartiennent à chacun de ces deux métaux.

Nous ne rappellerons pas tout ce que nous avons déjà dit sur la cause présumée de la lumière électrique quand nous avons traité de l'étincelle; nous ajouterons seulement que M. Wheatstone a cru devoir conclure de ses recherches, que la lumière électrique était le résultat de la volatilisation et de l'ignition de la matière pondérable du conducteur. Nous ne partageons pas tout à fait son opinion. Nous rappellerons à cet égard l'expérience déjà citée (134), où l'on fait passer la décharge d'une forte batterie électrique entre deux petites boules de métal placées dans le vide. La lumière devient vive et éclatante, et on n'aperçoit cependant aucune trace bien sensible d'altération sur les surfaces des deux boules. Il faut donc que cette lumière soit réellement le résultat du passage des deux électricités dans le vide, et non celui de l'ignition de parties matérielles qui auraient été enlevées aux conducteurs. Quand la lumière est diffuse, c'est une preuve que les deux électricités n'ont pas une tension suffisante pour s'élancer rapidement l'une sur l'autre.

657. Pour compléter ce que nous avons à dire sur la lumière électrique, nous allons rapporter les recherches de M. Wheatstone sur la vitesse et la durée de la lumière électrique, dans l'espoir que les physiciens voudront bien compléter ces recherches, en soumettant au même mode d'expérimentation les différentes lumières phosphoriques.

Ce physicien a pris pour point de départ les deux principes suivants : 1° le passage rapide d'un point lumineux paraît une ligne continue, par suite de la durée de l'impression qui se prolonge sur la rétine; 2° si le mouvement que décrit la ligne est concomitant avec un autre mouvement, dont la direction et la vitesse soient connues, on peut, au moyen des lignes droite et courbe qui en résultent, déterminer la vitesse et la direction du premier.

La figure 8 représente l'appareil dont M. Wheatstone a fait usage; cet appareil est vissé en A au pivot d'une machine à laquelle on peut donner un mouvement rapide de rotation. La partie supérieure et la partie inférieure en cuivre sont isolées par une tige de verre *de*; le disque *bc* est de bois. Une petite feuille d'étain établit la communication entre la boule *h* et *a*, et la balle supérieure *g* peut être éloignée plus ou moins de *h*. Quand la boule *f* est placée à une certaine distance d'un excellent conducteur d'une machine électrique, il éclate une étincelle entre *g* et *h* éloignés de 4 pouces. Si donc le mouvement angulaire de la boule est dans un rapport appréciable avec la vitesse de l'électricité, il doit y avoir une déviation entre les limites supérieures et inférieures de la ligne qu'elle parcourt. L'instrument tournant de droite à gauche, si l'étincelle part d'en bas, elle suit la direction *ab* (fig. 9), et la direction *a'b'* (fig. 10), si elle vient d'en haut.

Or, quand l'appareil tourne rapidement, les étincelles passent de la même manière que lorsqu'il est en repos, de sorte qu'il n'y a aucune déviation de la verticale des deux extrémités de chaque étincelle. M. Wheatstone a déduit de l'une de ses expériences que l'étincelle passait dans l'air et dans le métal en moins de temps que la millième partie d'une seconde; mais son expérience ne lui ayant pas paru assez concluante, il a cherché si le mouvement de l'image réfléchie de l'étincelle sur un miroir plan, ne remplirait pas mieux le but qu'il se proposait,

puisque le mouvment apparent de l'image réfléchie dans un petit miroir mobile devait équivaloir à un plus grand mouvement de l'objet lui-même.

658. La forme la plus convenable qu'il a adoptée pour le miroir tournant sur son axe est représentée fig. 11. Si l'on place à une certaine distance de ce miroir, soumis à un mouvement de rotation, un point lumineux, l'image réfléchie décrira une circonférence de cercle dont le rayon sera égal à la distance perpendiculaire entre le point lumineux et l'axe de rotation. La vitesse angulaire de l'image étant double de celle du miroir, il en résulte que la circonférence entière est décrite pendant que le miroir fait une demi-révolution. Si l'on admet encore que le revers du miroir soit aussi une surface réfléchissante, l'image décrira deux circonférences entières pendant la révolution du miroir. Supposons maintenant que pendant que celui-ci est en mouvement, le point lumineux se meuve parallèlement à l'axe de rotation, la résultante des deux mouvements sera dirigée en diagonale; si l'on connaît alors le nombre des rotations du miroir pendant un temps donné, on pourra calculer la direction et la vitesse du point mobile.

659. Voici les résultats d'une expérience: en faisant tourner le miroir cinquante fois par seconde, l'image réfléchie du point lumineux parcourait un demi-degré pendant la 72,000^{me} partie d'une seconde. L'auteur admet qu'un arc d'un demi-degré est facilement appréciable à l'œil, puisqu'il est égal à environ un pouce, vu à la distance de 10 pieds.

En supposant que ce soit là la limite de l'observation, quoiqu'il soit possible de distinguer à l'œil un arc beaucoup plus petit, il y a possibilité, lorsqu'un rayon de lumière électrique est dans une direction parallèle à l'axe du miroir en mouvement, de reconnaître deux choses: 1° la durée de la lumière, à chaque point où elle paraît; 2° le temps qui s'écoule entre l'apparence de la lumière entre deux points successifs de son passage, pourvu cependant que le temps, dans chaque cas, ne soit pas au-

dessous de $\frac{1}{72000}$ de seconde. La première est indiquée par l'élongation horizontale de l'image réfléchie, et la seconde par la distance entre les deux lignes tirées de l'image perpendiculairement au plan horizontal. Si la durée et la vitesse sont rendues sensibles par le miroir, l'image réfléchie apparaît comme une bande de lumière déviée.

N'ayant pas eu occasion de répéter les expériences de M. Wheatstone, nous nous bornons seulement à faire connaître la méthode d'expérimentation qu'il a employée et les résultats auxquels il est parvenu : nous aurions désiré qu'il eût soumis à l'expérience des étincelles électriques diversement colorées, pour connaître leurs rapports de vitesse, ainsi que des lumières phosphoriques ayant les mêmes nuances, afin de pouvoir déterminer si elles sont identiques ou non : un grand nombre de faits prouvent cette identité, mais dans une question de cette nature, on ne saurait apporter trop de preuves en faveur de son opinion. C'est donc un travail qui reste à faire.



CHAPITRE II.

DES DIFFÉRENTS MODES DE PHOSPHORESCENCE.

§ Ier. *Définition des diverses phosphorescences.*

660. On distingue cinq modes de phosphorescence : phosphorescence par élévation de température, par insolation, par frottement ou percussion, par les décharges électriques, et phosphorescence spontanée : telles sont les distinctions qui ont été faites par MM. Dessaignes et Placidus Heinrich, qui se sont le plus occupés de cette partie de la physique et dont les recherches vont nous servir de guides dans l'exposé que nous allons présenter des phénomènes de la phosphorescence.

La première espèce de phosphorescence s'obtient en jetant la substance en poudre ou en masse sur un support métallique, plus ou moins chaud, placé dans l'obscurité, afin que la rétine soit plus sensible aux moindres apparences lumineuses.

M. Brewster, qui a fait quelques expériences sur la phosphorescence, s'est servi d'un canon de pistolet, dont la lumière était bouchée : il introduisait le minéral dans la culasse, qu'il plaçait ensuite sur le feu; il lui était facile alors d'apercevoir la phosphorescence en regardant dans le canon. Pour garantir son œil de l'air chaud, il plaçait devant l'ouverture une lame de verre, et quelquefois un petit télescope ajusté de manière à rendre distincte la vision des objets situés au fond du canon.

La phosphorescence par insolation est celle qui est produite quand on expose les corps à l'action de la lu-

mière solaire. L'observateur doit avoir l'attention de se placer dans une petite chambre noire, dont le côté qui fait face au soleil est muni d'un petit volet, que l'on peut ouvrir et fermer à volonté, pour introduire ou intercepter un faisceau de lumière à l'action duquel on expose, pendant quelques instants, les substances d'essai. On ferme les yeux pendant ce temps, pour éviter de fatiguer la rétine.

La phosphorescence par frottement ou percussion s'obtient en frottant la substance avec un corps plus ou moins dur, ou bien en le pressant et le frappant à coups plus ou moins redoublés avec un autre corps.

La phosphorescence par les décharges électriques s'obtient en soumettant les corps à l'action de la décharge de batteries électriques sur la tablette de l'excitateur universel. Quand le corps est réduit en poudre, on le place dans un tube de verre, entre deux conducteurs métalliques, qui sont en communication avec les deux surfaces de la batterie.

Le dernier mode de phosphorescence est produit dans les actions chimiques vives ou lentes; dans le premier cas, l'effet est passager et fugitif; dans le second, il est permanent. La combinaison de la chaux avec une petite quantité d'eau donne lieu à une phosphorescence du premier cas; la lueur du bois et celle des poissons, dans un certain état de décomposition, sont des exemples du second.

§ II. *De la phosphorescence par l'élévation de température.*

661. Tous les corps phosphorescents par la chaleur acquièrent cette faculté, quand on les jette en poudre sur un support chaud, quelle que soit sa nature. Nous citerons particulièrement la chaux fluatée, qui devient également lumineuse sur du mercure bouillant, dans un mélange d'eau et d'acide sulfurique, ou dans de l'eau bouillante.

Cette propriété ne se manifeste pas dans tous les corps au même degré : le sulfate de potasse, les chlorures de sodium et de mercure, l'acide arsénieux vitreux ne donnent aucune lumière sur un support incandescent, tandis qu'ils en émettent beaucoup sur des supports échauffés à 200° environ. Cette différence se conçoit : si la phosphorescence, comme tout porte à le croire, provient de la recomposition des deux électricités dégagées par l'action de la chaleur, elle doit diminuer dans certains corps et même cesser quand ils deviennent bons conducteurs de l'électricité, par suite de l'élévation de température; dès lors les deux fluides, pour se combiner, n'ont plus besoin d'une tension aussi grande que lorsque les corps sont moins bons conducteurs. Comme nous ne connaissons pas les rapports de conductibilité entre les substances conduisant mal l'électricité, nous ne pouvons prévoir *a priori* quelles sont celles qui cesseront d'être phosphorescentes à un certain degré de température.

Suivant M. Dessaignes, à l'exception de la chaux fluatée, de la chaux phosphatée terreuse de l'Estramadure, et de quelques autres substances, qui ne brillent complétement qu'un peu au-delà de 350°, la plupart de tous les corps organiques ou non deviennent phosphorescents sur l'alliage fusible de Darcet. Ce point de comparaison peut être utile quelquefois.

Il paraît qu'en général l'intensité de la lumière émise est en raison directe du degré de température auquel elle est produite, et sa durée en raison inverse.

Il est des corps qui perdent difficilement leurs propriétés lumineuses par l'action de la chaleur : ce sont les corps vitreux.

Passons en revue certains groupes de corps où le phénomène se manifeste d'une manière caractéristique.

662. La phosphorescence des limailles métalliques et de tous les sels métalliques, c'est-à-dire des corps qui conduisent le mieux l'électricité, est pour ainsi dire instantanée, puisqu'elle disparaît à une première projection sur une

cuiller de fer chauffée jusqu'au degré qui précède le rouge naissant ; il n'en est pas de même des terres, qui conservent leur propriété lumineuse, quelle que soit la chaleur à laquelle on les expose ; mais ordinairement elles brillent très-bien quand elles sont soumises à une température de 250°.

663. La craie ordinaire, les carbonates de baryte et de strontiane artificiels deviennent lumineux quand on les calcine à une chaleur modérée ; si l'on continue à élever la température, la lumière s'éteint peu à peu, disparaît tout-à-fait, puis se ravive quand on les a exposés pendant une demi-heure à une chaleur blanche, et continue à briller indéfiniment tant qu'on maintient la température. On voit parfaitement ici que la phosphorescence disparaît à l'instant où le carbonate perd son acide pour se transformer en chaux, en baryte ou en strontiane. La phosphorescence paraissant dépendre de la dilatation, quand il n'y a pas de décomposition chimique, il est naturel de penser qu'elle ne peut se manifester que lorsque les corps sont définitivement constitués. Cependant, comme les décompositions donnent lieu aussi à un dégagement d'électricité, il est des circonstances où elles deviennent elles-mêmes l'origine de la phosphorescence. Les autres sels alcalins ou terreux hydratés, qui conservent leur acide à l'exposition au feu, perdent cependant plus ou moins leur phosphorescence par l'effet de la calcination ; dans ce cas ils abandonnent une partie de leur eau de combinaison ou de l'eau interposée qui est une des causes déterminantes de la production de lumière, car si on les expose pendant quelque temps à l'air pour qu'ils puissent reprendre l'eau que la chaleur leur a enlevée, ils recouvrent la propriété lumineuse qu'ils avaient perdue. Il n'en est pas de même des substances siliceuses et de celles qui sont insolubles, comme le quartz, l'adulaire, le verre, etc. Leur propriété lumineuse ne reparaît plus une fois qu'elle est perdue ; il faut donc que la chaleur ait changé l'état d'agrégation des molécules.

664. On doit ranger encore parmi les corps phosphorescents par la chaleur, la houille, la tourbe, le carbure de fer, le succin, le jayet et le soufre; parmi les substances végétales, les fèves et le maïs en poudre, la fécule, la farine, le seigle, le papier, la betterave; dans les substances animales, les dents, les os, le corail, les coquilles, et beaucoup d'autres substances.

Parmi les liquides, nous citerons les huiles volatiles qui deviennent phosphorescentes à la température de l'eau bouillante, tandis que les huiles empyreumatiques sont privées de cette faculté. En général, les liquides dont on peut porter la température jusqu'au degré de l'ébullition sans les décomposer, tels que l'eau, le vin, les acides, ne manifestent aucune phosphorescence.

On doit rapporter aussi à des effets de ce genre les phénomènes lumineux que manifestent certains corps à une température élevée, et dont les propriétés chimiques sont changées, sans qu'il y ait addition ou dégagement d'aucune partie. Nous citerons particulièrement la zircone, l'oxide de chrome, et quelques antimoniates métalliques qui, chauffés à une haute température, laissent échapper de la lumière, et perdent alors la faculté de se combiner avec d'autres corps. Tout porte à croire que la répugnance qu'éprouvent certains corps à se recombiner et à se dissoudre après leur exposition au feu, provient d'une cause semblable, qui annonce un changement dans l'état d'agrégation des particules. Nous citerons particulièrement les oxides de fer et de titane. Nous sommes très-disposés à croire que la lumière qui est produite dans ces phénomènes, provient d'une recomposition des deux électricités, qui deviennent libres quand les particules prennent un autre arrangement.

665. Dans la phosphorescence produite par la chaleur, on distingue deux lumières, l'une qui se montre par émanation, et l'autre par scintillation : les terres et les composés terreux et alcalins offrent un exemple du premier genre d'émission lumineuse; les métaux réduits en limaille fine, leurs oxides et tous les sels mé-

talliques, un exemple du second genre. Dans ce cas-ci, l'oxidation à la surface des parcelles métalliques doit jouer un certain rôle dans l'émission lumineuse, puisque le zinc et l'antimoine produisent le phénomène au maximum, l'or et l'argent au minimum.

666. La lueur phosphorique varie avec la nature des corps : certains marbres et le succin donnent une lumière d'un jaune doré; le spath fluor et la chaux arseniatée, une lumière verdâtre; diverses variétés de spath fluor, une couleur bleu-violet; le grenat oriental, le sucre de lait, une lumière rouge; la dolomie, l'arragonite et quelques diamants, une lumière d'un blanc éclatant; l'harmotome, une couleur jaune-verdâtre; la chlorophane, une couleur verte, etc. Qui ne voit là les mêmes teintes que prend l'étincelle électrique quand elle éclate entre des corps plus ou moins mauvais conducteurs? Or comme nous ne connaissons pas les rapports de conductibilité entre tous ces corps, nous ne pouvons expliquer encore d'une manière satisfaisante la couleur de la lumière phosphorique émise par chacun d'eux, quand la chaleur dilate leurs particules.

667. Toutes les substances minérales qui brillent par l'élévation de température à raison de changements moléculaires, montrent les mêmes effets dans l'air, l'oxigène et différents gaz qui ne les attaquent pas. Il n'en est pas de même des corps organiques qui jettent plus d'éclat dans le gaz oxigène que dans les autres, où ils s'éteignent pour reprendre leurs facultés lumineuses quand on les en retire.

668. Nous citerons quelques exemples de phosphorescence qui viennent à l'appui de l'opinion que nous avons émise. M. Dumas a remarqué que l'acide borique, fondu dans un creuset de platine, se fend au moment du refroidissement, en jetant une vive lumière qui suit la direction des fentes. Qui ne voit dans ces phénomènes un effet semblable à celui du dégagement de l'électricité avec lumière, dans le clivage des substances minérales conduisant imparfaitement l'électricité?

La chaleur, en dilatant les molécules des corps, ne fait, nous le répétons, que produire une espèce de clivage naturel analogue au précédent, d'où résultent nécessairement des effets électriques semblables.

§ III. *Phosphorescence par insolation.*

669. Ce mode de phosphorescence est celui qui est produit dans les corps par une simple exposition à la lumière solaire. Nous ne savons pas encore au juste comment la lumière agit dans cette circonstance, cependant nous avons lieu de soupçonner qu'elle y produit soit un changement d'état moléculaire momentané, soit des décompositions chimiques analogues à celles qu'elle opère sur les couleurs végétales et sur certains composés.

On doit ranger parmi les substances qui possèdent au plus haut degré ce genre de phosphorescence, les phosphores de Canton et de Baudouin, dont l'un est un sulfure de calcium, et l'autre le nitrate de chaux fondu, qui est un composé d'oxide nitrique, d'acide nitreux et de chaux. Le premier émet une lumière jaune, le second une lumière blanche; l'effet est toujours le même, quels que soient les rayons du spectre auxquels on les expose. Si l'expérience qui a été faite par M. Dessaignes est exacte, on doit en conclure que la lumière solaire n'agit pas dans cette circonstance par la chaleur qu'elle renferme.

670. P. Heinrich place parmi les minéraux phosphorescents par insolation ceux qui sont à base de chaux, tels que la chaux fluatée, qui est en première ligne, puis la chaux carbonatée, les diverses pétrifications, les tests des animaux marins, les os fossiles, les perles, les chaux, sulfatée, phosphatée, arseniatée.

671. Néanmoins tous les sels calcaires ne possèdent pas la phosphorescence au même degré; elle varie suivant la nature des acides, en raison de causes qui nous sont inconnues; la chaux fluatée, quand sa propriété

lumineuse n'a pas été altérée, reluit après quelques secondes d'exposition au soleil. La craie est très-lumineuse par insolation ; il résulte évidemment de là que des masses considérables de calcaire et de craie, particulièrement celles qui restent exposées pendant des journées entières à l'action d'un soleil ardent, peuvent répandre au loin, à la chute du jour, une faible lueur phosphorique. N'est-ce pas à cette cause qu'il faut rapporter la phosphorescence de quelques montagnes, que des voyageurs, dit-on, ont observée dans l'intérieur de l'Afrique? Nous appelons sur ce point l'attention des géologues, parce que le phénomène de la phosphorescence se rattache à la question de la décomposition des roches, en ce qu'il annonce soit une décomposition, soit une désagrégation, soit un dérangement dans l'état d'équilibre des particules, qui peut être suivi de l'une ou de l'autre.

672. Les physiciens qui se sont le plus occupés de la phosphorescence ont admis que les minéraux dans lesquels dominent la silice, l'alumine et la magnésie, sont peu propres à devenir phosphorescents. Beaucoup de diamants réduits en petits fragments jouissent de la phosphorescence, même après une faible action solaire, pourvu cependant qu'on ne les ait pas soumis d'abord à une forte calcination; dans ce cas ils n'émettent plus de lumière. On cite des diamants qui sont restés phosphorescents pendant une heure dans un milieu quelconque, après avoir été exposés pendant quelques secondes seulement à la lumière solaire.

Une foule de corps ne sont pas lumineux par insolation. Je citerai par exemple les liquides, le charbon, le graphite, les métaux, leurs sulfures, à l'exception du sulfure jaune d'arsenic; leurs oxides précipités de leurs dissolutions et séchés, excepté les oxides de plomb et de zinc, et quelques oxides métalliques naturels. En général, on peut ranger dans la même catégorie tous les corps qui sont bons conducteurs de l'électricité; les corps isolants présentent de grandes différences

dans l'intensité des effets produits; quant à ceux qui sont de médiocres conducteurs, on les regarde comme très-phosphorescents.

En général les corps isolants résistent long-temps à la phosphorescence; mais une fois qu'elle y est développée, l'émission lumineuse est durable. Dans les corps conducteurs, au contraire, la cause qui produit la lumière est ébranlée facilement; mais cette faculté n'a qu'une courte durée. Qui ne voit là des rapports immédiats avec les effets du dégagement de l'électricité dans les corps mauvais et bons conducteurs de l'électricité?

673. Nous avons dit précédemment que la lumière solaire ne paraissait pas agir en raison de la chaleur qu'elle transmet aux corps. Cette opinion est fondée en partie sur les observations suivantes : les corps les plus lumineux par insolation ne brillent pas quand ils sont chauds; le carbonate de chaux, le sulfate de baryte, le phosphate de chaux artificielle et quelques autres sels luisent parfaitement après leur exposition au soleil, lors même qu'ils n'émettent plus de lumière par l'action de la chaleur.

Le phosphore de Canton ne devient également lumineux qu'après avoir été refroidi et mis à l'abri de l'air et de l'humidité immédiatement après sa calcination. La flamme d'une chandelle suffit alors pour le rendre phosphorescent; en l'exposant à l'air, sa faculté lumineuse augmente d'intensité; quand on le place dans le vide barométrique, il ne l'est plus qu'au soleil.

La phosphorescence par insolation est peu sensible dans le règne végétal, si l'on en excepte cependant quelques produits, tels que la farine, le sucre, la gomme arabique, la cire blanche, certaines résines, etc. Quant aux substances animales, celles qui renferment du carbonate de chaux sont plus phosphorescentes que celles qui sont à base de phosphate de chaux.

§ IV. *Phosphorescence par frottement ou percussion.*

674. La phosphorescence produite par les moyens mécaniques va mettre en évidence le principe que nous avons adopté pour expliquer l'émission de la lumière phosphorique.

Les corps très-bons conducteurs ne possèdent pas, en général, le mode de phosphorescence par frottement ou percussion : ainsi les métaux en sont dépourvus, de même que plusieurs de leurs composés; il faut en excepter le proto-chlorure et le deuto-chlorure, ainsi que le phosphate de mercure. En général, les corps qui sont lumineux par le frottement et la percussion, le sont également par les autres moyens déjà décrits.

Si l'on frappe, dans l'obscurité, la variété de feld-spath appelée *adulaire*, de manière à former des fissures dans l'intérieur de la masse, il se développe dans chacune d'elles une lumière qui dure plusieurs minutes. Si on la broie dans un mortier de porcelaine, à coups vivement répétés, elle paraît tout en feu. Nul doute que, dans ce cas, la lumière émise ne soit le résultat de l'électricité dégagée dans le clivage; effet que l'on obtient également avec la chaleur qui produit un clivage naturel.

Si l'on broie l'adulaire dans un mortier de fer, l'émission de lumière est très-faible; ce qui s'explique facilement selon notre manière de voir.

Un grand nombre de corps sont phosphorescents par le frottement; nous distinguerons particulièrement la dolomie à texture grenue, dont le moindre effort suffit pour détruire la force d'agrégation : cette substance émet une lumière rougeâtre.

Deux morceaux de cristal de roche dégagent de la lumière par leur frottement mutuel, ainsi que deux morceaux de feld-spath et de chaux fluatée.

Il est facile de démontrer que la phosphorescence produite par les moyens mécaniques ne provient pas

de la chaleur dégagée, mais d'un dérangement dans l'état moléculaire. En effet, les composés qui sont phosphorescents par frottement perdent, en général, leur propriété en les chauffant sur le support; nous citerons pour exemple la chaux phosphatée et le chlorure de calcium.

§ V. *De la phosphorescence produite par les décharges électriques.*

675. Les phénomènes vont prendre ici une certaine importance, non-seulement en raison de l'éclat et de l'intensité des effets produits, mais encore à cause du rapprochement que nous pourrons en faire avec les changements qui s'opèrent dans la constitution des corps, par l'effet des décharges électriques.

On croyait, jadis, que le choc électrique déterminait seulement dans les corps un écartement, une dislocation de leurs parties; mais il fait plus, puisqu'il les décompose souvent en séparant leurs parties élémentaires; le cinabre en est un exemple. Les corps conducteurs n'acquièrent aucune phosphorescence sensible après le choc électrique; si elle existe, elle n'est que de courte durée, et se confond avec la lumière produite dans la décharge : on retrouve un effet analogue dans les autres modes de phosphorescence.

676. Pour soumettre les corps à l'action des décharges électriques, on les place sur la tablette de l'excitateur universel, de manière que les extrémités des conducteurs en soient à une distance de deux à trois centimètres. On fait passer ensuite de l'une à l'autre la décharge d'une batterie électrique d'un certain nombre de bocaux, et, après l'explosion, si c'est par exemple, un morceau de craie sèche, on aperçoit, dans le trajet parcouru par l'électricité, une traînée de lumière dont les teintes sont changeantes, et qui dure quelques instants. En soumettant au même mode d'expérimentation d'autres corps, on remarque des effets semblables; seulement, la couleur et

la durée de la lumière varient considérablement. Quand les corps sont en poudre, on les met dans un tube, comme on l'a déjà dit. Nous citerons quelques exemples choisis parmi ceux qui offrent les effets les plus marqués.

Un fragment de cristal de baryte sulfatée donne une lumière verte brillante, ainsi que l'acétate de potasse sec. Le sucre et l'acide succinique produisent des effets semblables, mais plus durables. Les coquilles d'huîtres calcinées donnent les couleurs prismatiques; quand elles sont réduites en poudre, les effets sont infiniment moindres. Elles donnent une phosphorescence plus durable et plus brillante quand elles ont été calcinées avec du soufre.

Le cristal de roche émet une lumière rouge qui devient ensuite blanche. Le choc électrique est, comme on voit, un moyen puissant de communiquer la phosphorescence aux corps; mais il ne borne pas là son action, il possède encore la propriété remarquable de leur rendre la propriété phosphorescente qu'ils ont perdue par l'élévation de température. MM. Dessaignes, Heinrich et Pearseall, et particulièrement ce dernier, ont fait des recherches intéressantes sur cet important sujet, qui avait déjà attiré l'attention des physiciens du siècle dernier.

677. Lorsqu'on fait passer une décharge électrique au travers de la chlorophane réduite en poussière grossière, il en résulte une émission de lumière verte, qui se manifeste chaque fois que l'on renouvelle la décharge; l'intensité paraît même sensiblement augmentée.

Quand un morceau de chlorophane a perdu sa phosphorescence par une élévation suffisante de température, l'action de la décharge d'une bouteille de Leyde, dont l'armure a 9 cent. carrés, lui rend sa propriété primitive, non-seulement à l'instant du passage de l'électricité, mais encore lorsqu'on élève sa température. Un échantillon de chlorophane qui a perdu sa propriété ne la reprend pas au soleil. On ne connaît jusqu'ici que le choc électrique pour la lui rendre. L'intensité de la lumière émise

paraît croître en raison du nombre et de la force des décharges.

Du spath fluor violet calciné fortement, et qui, exposé à la lumière, ne donne plus aucune phosphorescence, n'en manifeste que lorsqu'il a été électrisé. Il émet alors une lueur d'un violet foncé.

L'apatite présente le même phénomène; seulement la lumière est jaune. Cette substance produit plus d'effets en fragments qu'en poudre.

678. Le choc électrique est capable, en outre, de faire acquérir la phosphorescence aux corps qui ne la possédaient pas avant.

Un spath fluor non coloré qui ne présentait aucune trace de phosphorescence, à l'aide de la chaleur en a donné une de couleur de feu, après cinq ou six décharges.

Un diamant sur lequel on avait fait passer douze décharges, a émis une lueur d'un bleu pâle lorsqu'on l'a fait chauffer.

Des diamants qui ne sont point lumineux, le deviennent après l'action de quelques décharges.

Le marbre blanc, non phosphorescent dans son état naturel, le devient après avoir été soumis à l'action de dix ou douze décharges : il émet alors une faible lueur rouge.

M. Pearseall a observé que des fluors blancs, qui avaient une teinte jaunâtre, en prenaient une bleuâtre après six ou sept décharges. La phosphorescence ainsi produite était d'autant plus forte, que la teinte était plus visible. Cette observation, comme nous le verrons plus loin, est d'une certaine importance.

On peut faire cette expérience, en réunissant quelques fragments de fluor dans un tube de verre ouvert aux deux extrémités, et dont les deux bouts sont en communication avec ceux d'un excitateur éloignés l'un de l'autre d'un à deux centimètres. Les portions non colorées ne sont pas phosphorescentes, tandis que les parties colorées extérieurement possèdent cette propriété;

il paraîtrait donc que la propriété qui est conférée par le choc appartient principalement aux surfaces, c'est-à-dire aux parties des corps conducteurs qui éprouvent le plus son action.

Les pierres dures, telles que les corindons, le grenat, l'améthyste, n'ont donné jusqu'ici aucune trace de phosphorescence après le choc électrique.

679. M. Pearseall a observé que, lorsque les fluors naturels émettent une lumière de différente teinte, l'action électrique ne lui en communique qu'une seule. L'inverse a lieu quand le minéral n'en présente qu'une seule : alors la phosphorescence est composée de couleurs variées.

Les effets de la lumière sur les corps qui ont éprouvé le choc électrique sont très-remarquables. Il faut pour cela opérer sur des fluors calcinés préalablement et électrisés ensuite; on les divise en deux portions : l'une, renfermée dans des tubes de verre, est exposée aux rayons solaires, et l'autre, enveloppée dans du papier, est placée dans l'obscurité. Les fragments sont ensuite chauffés; dans une expérience, partie des fragments qui avaient été exposés pendant 21 jours à la lumière solaire, avaient perdu toute leur phosphorescence; partie avaient éprouvé une modification sensible dans leur phosphorescence, tandis que les fragments conservés dans l'obscurité avaient conservé la propriété qu'ils tenaient du choc électrique.

Il restait à examiner l'influence que pouvait exercer le choc sur les substances qui possédaient avant la phosphorescence; M. Pearseall, qui a traité cette question, a trouvé une augmentation d'intensité dans la lumière, et fréquemment une série de couleurs magnifiques.

La phosphorescence qui est ainsi imprimée aux corps paraît plus énergique que celle qui leur est propre, puisqu'elle se développe à des températures plus basses que celles où cette dernière se montre.

680. Nous avons déjà dit que les coquilles d'huîtres calcinées émettaient une lumière assez vive lorsqu'elles

étaient exposées au choc électrique; mais elles servent encore à résoudre une question qui n'est pas sans intérêt pour la phosphorescence, c'est de montrer que la lumière électrique seule suffit pour les rendre lumineuses. Si l'on introduit des fragments de ces coquilles dans de petits tubes de verre hermétiquement fermés, et placés eux-mêmes dans d'autres tubes plus longs, et que l'on fasse passer un très-grand nombre de décharges électriques à la surface extérieure de ces petits tubes, les fragments deviennent phosphorescents quand on les chauffe. Exposés à la lumière voltaïque produite entre deux pointes de charbon qui communiquent entre les extrémités d'une batterie de 100 paires, ils acquièrent, quoiqu'à un moindre degré, la faculté lumineuse au travers du verre quand on les chauffe ensuite. En général, les effets de la lumière voltaïque sont moins marqués que ceux qui proviennent de l'électricité ordinaire. Nous ne pouvons pas encore nous expliquer sur le rôle que jouent les décharges électriques sur la phosphorescence; nous remettons à le faire quand nous aurons exposé diverses causes qui influent sur le phénomène.

§ VI. *Des phosphorescences spontanées.*

681. Il existe un grand nombre de substances dans la nature organique, et même dans la nature inorganique, qui jouissent de la propriété d'émettre spontanément de la lumière par suite d'une réaction qui a lieu, soit entre leurs parties constituantes, soit entre ces mêmes parties et les éléments des milieux dans lesquels elles se trouvent. On distingue, comme nous l'avons déjà dit, deux genres de phosphorescences spontanées, les unes passagères et fugitives, comme celles que l'on observe dans la combinaison de la chaux caustique avec l'eau, et dans une foule de cas semblables, où l'action chimique est violente; les autres lentes et durables, telles que celles que nous offrent

le bois luisant, certains poissons de mer qui se trouvent dans un état particulier de décomposition.

M. Dessaignes a reconnu que tous les bois, de quelque nature qu'ils soient, deviennent phosphorescents, pourvu qu'ils soient pénétrés d'eau, exposés à une température de 8 ou 12°, et en contact avec l'air. Néanmoins, ces conditions ne suffisent pas pour que le phénomène se montre avec un certain éclat; il faut encore que le bois se trouve dans un état particulier de décomposition. Quand la phosphorescence s'arrête, le bois a perdu sa flexibilité, sa force de tissu et une grande partie de son poids. Le ligneux est intact, quoique sans force de cohésion.

682. Les viandes, en général, et les poissons d'eau douce deviennent moins facilement lumineux que les poissons de mer; il leur faut aussi une température de 8 ou 10 degrés, une humidité soutenue et le contact de l'air. On voit par là pourquoi, dans les poissons, la phosphorescence n'est que superficielle; les surfaces intérieures ne prennent de l'éclat qu'après avoir été exposées à l'air; les parties muqueuses sont les plus lumineuses.

Dans les poissons, la phosphorescence se manifeste lorsqu'ils se trouvent dans un certain état de décomposition qui précède la putréfaction; il paraît qu'elle se montre pendant la lutte qui a lieu entre les forces de la nature organique et celles de la nature inorganique, puisqu'elle cesse tout à fait quand celles-ci l'emportent.

683. Si l'on renferme une masse de bois luisant dans un vase rempli de mercure, on obtient de l'acide carbonique; ce qui prouve qu'il y a une combustion lente, et par suite un dégagement d'électricité, qui peut être accompagnée de lumière si le bois est mauvais conducteur.

Du poisson et du bois luisant suspendus dans un vase rempli d'air, qui contient de la chaux caustique, s'y éteignent à mesure qu'ils se dessèchent et reprennent leurs propriétés lumineuses lorsqu'ils sont humectés.

Toute cause qui tend à les désorganiser leur enlève la faculté lumineuse; ainsi, quand ils sont plongés dans l'eau bouillante, ils restent ténébreux.

Ces deux mêmes corps continuent à répandre de la lumière dans l'azote, l'hydrogène et le gaz acide carbonique, mais ils s'affaiblissent à la longue et s'éteignent tout à fait. Dans le vide barométrique, ils doivent s'éteindre assez rapidement, et se ranimer en y faisant rentrer de l'air.

684. Nous remettons à parler de la phosphorescence de la mer, des lampyres et de quelques autres corps, après que nous aurons exposé les causes principales qui influent sur la phosphorescence en général, parce que nous en déduirons des conséquences qui serviront à l'interpréter.

CHAPITRE III.

DES CAUSES QUI INFLUENT SUR LA PHOSPHORESCENCE EN GÉNÉRAL.

§ Ier. *De l'influence de l'eau de cristallisation.*

685. Nous avons déjà vu (662) que l'eau de cristallisation, ou l'eau interposée, est une cause déterminante de la phosphorescence dans un grand nombre de corps, puisque certains sels, qui en sont privés, cessent de luire au soleil et sur le support chaud. Nous avons à étudier maintenant d'une manière plus directe l'influence de ces deux eaux, afin de déterminer les limites où elle cesse de se manifester.

M. Dessaignes a fait de nombreuses expériences à ce sujet : dans l'impossibilité où nous sommes de les rapporter toutes, nous ne mentionnerons que celles qui offrent le plus d'intérêt et qui permettent d'en tirer des conséquences générales.

686. Les solutions salines, saturées ou non, n'étant jamais lumineuses au soleil, on doit en conclure que l'état liquide est contraire au développement de la phosphorescence. Si le sel dissous était décomposable à l'air, il y aurait probablement une exception. La craie réduite en poudre, tenue en suspension dans l'eau et présentée au soleil, devient lumineuse; il en est de même de la chaux fraîchement éteinte : mais, dans l'un et dans l'autre cas, on doit considérer ces petits corpuscules comme acquérant la faculté lumineuse à l'instar des masses beaucoup

plus grosses. Le nitrate de chaux et le chlorure de calcium convenablement desséchés, ainsi que la potasse et la soude caustique, et en général tous les sels déliquescents, sont très-lumineux après l'exposition au soleil; mais ils perdent leurs facultés quand on leur laisse prendre à l'air une certaine quantité d'eau : la preuve la plus directe qu'on puisse en donner, c'est que si l'on fait chauffer graduellement ces substances de manière à leur enlever successivement une portion de leur eau, leur phosphorescence augmente progressivement en intensité et en durée, et atteint son maximum quand elles sont dans un certain état de dessiccation.

687. Les hydrates ne doivent pas être privés de toute leur eau si l'on ne veut pas détruire leur phosphorescence; quand on la leur a enlevée, il faut les humecter légèrement, ou les dissoudre, pour leur rendre leur eau de cristallisation. L'expérience suivante met bien en évidence l'influence de l'eau sur la phosphorescence : on prépare deux fluates calcaires renfermant deux quantités d'eau différentes. Ces deux sels, après avoir été lavés et séchés, ne sont pas phosphorescents au même degré. Celui qui renferme le plus d'eau est le plus phosphorescent.

D'un autre côté, on a remarqué qu'un grand nombre d'hydrates sont d'autant moins phosphorescents que l'on parvient à les priver d'une plus grande quantité d'eau. On en a encore un exemple frappant dans la baryte, la strontiane et la chaux, qui, privées d'eau autant que possible, ne donnent sur le support chaud que deux ou trois étincelles, tandis qu'elles deviennent très-lumineuses dès l'instant qu'elles sont humectées d'une très-petite quantité d'eau. En augmentant la dose, elles deviennent ténébreuses, comme nous l'avons vu précédemment. Il est infiniment probable que la faculté lumineuse n'est inhérente aux hydrates que parce qu'ils perdent, par l'effet d'une action lente, une partie de leur eau; d'où résultent des effets analogues à ceux qui ont lieu dans la phosphorescence spontanée. Quant aux sels déliquescents, ils peuvent perdre une portion de leur eau sans cesser pour

cela d'être hydratés : dans ce cas, il n'y a pas de décomposition chimique. On ne doit pas croire que la présence de l'eau soit absolument nécessaire dans les corps, pour qu'ils possèdent la faculté lumineuse, puisque les sels insolubles restent ténébreux quand on les humecte avec de l'eau, une fois qu'ils ont perdu leur phosphorescence.

688. Ce qu'il y a de particulier dans le rôle que joue l'eau dans la phosphorescence, c'est que des substances minérales vitreuses, qui ne sont pas phosphorescentes par insolation, le deviennent en les faisant rougir et les projetant dans l'eau. Le liquide qui s'interpose dans les nombreuses fissures formées, suffit pour rendre les corps phosphorescents. On en a un exemple dans le quartz, qui, après avoir été chauffé fortement, se fendille et ne devient pas pour cela phosphorescent par insolation; mais quand on le projette chaud dans l'eau, il devient aussi phosphorescent que l'adulaire. La topaze se comporte de même.

§ II. *De l'influence des oxides métalliques sur la phosphorescence.*

689. Nous savons que tous les métaux et leurs composés, c'est-à-dire les corps qui conduisent le mieux l'électricité, sont privés en général de la phosphorescence, parce qu'ils facilitent la recomposition immédiate des deux électricités dégagées, soit dans les changements d'état des corps, soit dans leur décomposition, avant qu'elles aient acquis la tension suffisante pour produire de la lumière. Il en résulte que la présence des oxides dans les composés doit influer sur leur phosphorescence en raison de leurs proportions. Les expériences suivantes en donnent la preuve : on prend des sels neutres terreux et alcalins très-lumineux, tels que le carbonate et le phosphate de chaux artificiels, et l'on projette dessus quelques gouttes d'une dissolution de fer. On trouve, après les avoir desséchés et refroidis convenablement, qu'ils ne

sont phosphorescents ni à la lumière du jour ni à celle du soleil.

690. Si l'on mêle du nitrate de chaux avec du nitrate de fer, depuis $\frac{1}{10}$ de son poids jusqu'à $\frac{1}{100}$, le tout dissous dans l'eau et chauffé ensuite dans une capsule de porcelaine jusqu'à siccité, ces divers mélanges résistent tous à l'insolation. La phosphorescence ne commence à paraître que lorsque la substance métallique ne se trouve dans le mélange que dans la proportion de $\frac{1}{200}$; à partir de ce point, jusqu'à $\frac{1}{500}$, elle s'accroît sensiblement; mais la lueur n'est jamais aussi vive, ni aussi durable qu'avec le nitrate de chaux pur.

§ III. *De l'influence de l'état des surfaces des corps sur la phosphorescence.*

691. L'état des surfaces influe singulièrement sur le développement de la phosphorescence; lorsqu'elles sont couvertes d'aspérités, leur mode d'action a de l'analogie avec celui des pointes métalliques en présence d'un corps électrisé.

Un cristal de spath fluor limpide qui n'est pas phosphorescent, le devient quand on a fait naître des fractures et qu'on le pose ensuite sur un support chauffé au-dessous de la température rouge.

Si l'on use sur un grès deux faces correspondantes d'un cube de spath fluor non phosphorescent, et qu'on le place sur un support chaud par les faces usées, il devient sensiblement phosphorescent au bout de 40 secondes, tandis qu'il ne se produit aucun effet quand on applique sur le support les faces non usées.

Quand une lame de verre de $\frac{1}{2}$ millimètre d'épaisseur est mise sur une pelle de fer, à l'instant où elle cesse de rougir, on aperçoit un commencement de phosphorescence sur les bords fracturés; la phosphorescence augmente peu à peu et finit par se répandre dans toute la masse.

692. Il y a beaucoup de substances, telles que le cristal de roche, l'adulaire limpide, la chaux phosphatée

et l'émeraude, qui ne deviennent phosphorescentes à aucune température, tant que leurs faces jouissent de leur poli naturel; mais aussitôt qu'elles ont été dépolies, elles deviennent lumineuses sur un support incandescent. Quant aux corindons, ils sont tout à fait réfractaires dans ce cas-là.

693. M. Dessaignes est parti de cette influence des aspérités et des pointes sur la phosphorescence, pour étudier ce qui arrive quand on applique la chaleur dans un sens perpendiculaire ou parallèle aux lames de superposition des cristaux. Prenons la chaux carbonatée prismatique : si l'on place le cristal sur le support chaud, par l'une de ses faces, il devient lumineux au bout de 30 secondes dans toute sa masse. Si, après le refroidissement, on y pratique une section parallèle au plan des lames, pour obtenir une base inclinée, et qu'on l'applique par cette base sur le support, il n'y a aucune émission de lumière. L'arragonite offre des effets plus remarquables encore. Un prisme hexagonal, de 48 millimètres de hauteur et de 8 d'épaisseur, ayant été placé par une de ses faces sur la pelle obscurément chaude, elle prit une belle couleur jaune, dans toute sa masse, au bout de 40 ou 50 secondes. En posant le cristal sur l'une de ses bases, il n'y eut aucune émission de lumière, quel que fût le temps pendant lequel le cristal resta sur le support. Le résultat a été le même avec un prisme hexagonal très-court. Ainsi l'épaisseur du cristal n'a exercé aucune influence sur le phénomène.

Les expériences précédentes nous indiquent donc que la cristallisation influe sur la phosphorescence, puisque, lorsque la chaleur chemine dans des sens plus ou moins perpendiculaires aux lames cristallines, la phosphorescence devient plus ou moins forte.

694. Le diamant, parmi les corps durs, est celui qui montre d'une manière remarquable l'influence du sens des lames cristallines : trois petits diamants octaèdres, ayant été placés successivement sur un support chaud, n'ont présenté aucune trace de phosphorescence. Des dia-

mants taillés sont devenus lumineux, pendant 5 ou 6 minutes, à la première impression de la chaleur. Cette différence dans les effets a fait supposer à M. Dessaignes que les diamants ne devenaient lumineux qu'autant qu'on présentait à la chaleur des faces convenablement inclinées par rapport à l'axe, et polies. Pour justifier sa conjecture, il a fracturé un des trois diamants bruts pour y faire naître des pointes; tous les fragments ont exhalé sur le support une lumière aussi vive que celle du diamant taillé; il fut donc prouvé par là que ce dernier ne devait sa phosphorescence qu'aux aspérités que la coupe du lapidaire avait fait naître sur des lames clivées naturellement. Cette expérience a été répétée avec le même succès sur plus de cinquante diamants, ce qui ne doit laisser par conséquent aucun doute sur l'exactitude de l'explication.

695. Les phénomènes que nous venons de faire connaître sont beaucoup moins sensibles dans la phosphorescence par insolation, qui est moins énergique que celle qui est produite par l'application de la chaleur. Nous prendrons, pour exemple, le spath d'Islande rhomboïdal limpide, qui n'est pas phosphorescent par insolation; si l'on fait l'expérience rapidement, on aperçoit seulement des traces lumineuses sur les arêtes. On observe des effets semblables avec l'arragonite prismatique limpide et quelques autres substances.[1]

Les cristaux cubiques de spath fluor limpides, ou colorés en jaune ou en violet, restent ténébreux tant que leurs faces jouissent de leur poli naturel; mais aussitôt qu'ils sont fracturés ou dépolis, ils deviennent lumineux. Nous citerons encore l'adulaire et le soufre natif cristallisé. Les diamants offrent des effets remarquables par insolation, relativement aux aspérités. Un grand nombre de diamants bruts, de différentes formes, ont été présentés successivement au soleil sans pouvoir y développer la faculté lumineuse; mais en soumettant à l'expérience les fragments de plusieurs de ces diamants, que l'on avait fracturés, ils ont été lumineux dans l'obscurité. En général, la phosphorescence des diamants ne dépend que

du sens dans lequel les lames de superposition se présentent à l'action de la lumière solaire, et des aspérités qui les recouvrent.

696. Cette analogie entre le pouvoir des pointes métalliques, pour soutirer l'électricité accumulée sur un corps, et celui que manifestent les aspérités et les arêtes de tous les corps pour déterminer la phosphorescence, indique une nouvelle relation entre la lumière électrique et la lumière phosphorique. D'après notre manière de voir, l'électricité dégagée par toutes les causes qui développent la phosphorescence, doit acquérir une tension plus grande sur les parties aiguës des corps que partout ailleurs; aussi la lumière électrique qui résulte de l'intensité de cette tension, doit-elle être plus vive que sur les surfaces polies. Nous ferons remarquer encore que les mouvements oscillatoires des particules qui sont accompagnés d'effets électriques doivent être plus grands sur les aspérités que partout ailleurs, puisque la force d'agrégation tend d'autant moins à affaiblir ces mouvements.

§ IV. *De l'influence des masses sur la production de la phosphorescence.*

697. On a remarqué que plusieurs substances ne présentent pas les mêmes résultats au feu, selon qu'elles sont en masse ou en poudre. Un cristal de spath d'Islande limpide, par exemple, d'un millimètre d'épaisseur, mis sur la pelle chaude, devient lumineux dans toute sa masse, tandis qu'il ne produit rien quand il est réduit en poudre. L'arragonite ne se comporte pas de même : un cristal de cette substance, de la grosseur de 4 ou 5 millimètres, acquiert une vive lueur jaune sur le charbon ou sur la pelle, et devient encore plus lumineux quand il est réduit en petits fragments. Sa lumière ne répand qu'une lueur bleuâtre sur la pelle obscure.

Le feldspath adulaire cristallisé n'est pas phosphorescent en masse sur le support incandescent, tandis

que sa poudre est très-lumineuse; les corindons, les spinelles, l'émeraude, etc., se comportent absolument de la même manière. Voilà donc des effets opposés à ceux que l'on obtient avec les cristaux de chaux carbonatée limpide exempts de matières métalliques.

Une preuve que ces effets dépendent de certaines différences dans la constitution des corps, c'est que les variétés de chaux carbonatée limpide qui décrépitent beaucoup au feu, ne sont phosphorescentes ni en masse ni en poudre.

698. La chaux phosphatée prismatique et limpide se comporte à peu près comme la chaux carbonatée placée sur un support incandescent; elle ne commence à briller qu'au bout de 40 à 50 minutes, et finit par y prendre une belle lueur blanchâtre, tandis que sa poudre, jetée sur un charbon ardent, n'y produit à peu près rien.

Le spath fluor limpide produit le même effet. La grammatite fibreuse, qui est si phosphorescente par le frottement et la percussion, est non phosphorescente en poudre sur le charbon.

M. Dessaignes a observé que diverses variétés de quartz, telles que les agates, les cornalines, etc., et même le verre, deviennent phosphorescents sur la pelle obscure, pourvu qu'ils n'aient pas plus de 2 millimètres d'épaisseur.

699. Les faits que nous venons de rapporter prouvent qu'il existe des substances qui sont phosphorescentes en masse par l'action de la chaleur, et ne le sont pas réduites en poussière, tandis que d'autres éprouvent des effets contraires, c'est-à-dire, qu'elles sont phosphorescentes en poudre et non en masse. Il nous est impossible de donner une explication de cette différence, qui tient à la constitution même de ces corps et à leur mode de clivage. On conçoit bien que la percussion détruisant le clivage naturel d'une grande partie des particules, les poussières ne doivent plus posséder la même faculté lumineuse que les masses; c'est ainsi que

la chaux sulfatée en fer de lance de Montmartre, quand elle a été frappée fortement et à plusieurs reprises jusqu'au point de détacher en partie un grand nombre de lames, ne donne plus de lumière quand on vient à séparer deux lames entre lesquelles la force de cohésion est en partie détruite. On explique bien par ce moyen comment il se fait que certaines poussières ne sont pas phosphorescentes par la chaleur. Mais comment rendre raison de l'effet contraire produit dans quelques corps, comme le feldspath, les corindons, etc.? Il faut admettre, dans ce cas, que la force d'agrégation dans les masses s'oppose en partie aux mouvements de vibration des particules, d'où résultent les effets électriques qui produisent la phosphorescence.

§ V. *De l'influence de la coloration des corps sur la production de la phosphorescence.*

700. La couleur des corps influe singulièrement sur leur phosphorescence. Pour bien comprendre l'influence qu'elle exerce, nous devons rappeler au lecteur les diverses causes qui produisent la coloration des corps, celles surtout dont les effets sont plus faciles à saisir. Cette coloration peut provenir de la nature même de ces corps, de l'arrangement de leurs particules, ou bien du mélange ou de la combinaison de telle ou telle substance étrangère qui est presque toujours un oxide métallique. Le soufre, les oxides métalliques, etc., ont une couleur qui leur est propre, c'est-à-dire qui dépend de leur nature. Les quartz et autres doivent leur coloration à des oxides métalliques.

L'état d'agrégation influe tellement sur la coloration, qu'il existe des corps qui, à l'état pulvérulent, présentent une couleur qui n'est pas la même que celle de la masse; le cinabre en est un exemple.

Quelquefois certains corps doivent leur coloration à des principes que le feu enlève facilement, tels que du carbone ou quelques-uns de ses composés. Il arrive aussi que la chaleur détermine un nouvel arrangement entre

nouvel arrangement entre les particules des corps qui modifie leur couleur. C'est ainsi que le phosphore fondu et refroidi subitement prend une couleur noire, qui est bien opposée à celle qui est propre au phosphore quand on le laisse refroidir lentement.

701. On a encore un exemple de coloration dépendante de l'arrangement des particules dans l'opale, la pierre labrador, et d'autres substances où la lumière est décomposée. Le phénomène des iris qu'on y observe paraît être dû à des vacuoles, qui sont remplies quelquefois de fluides de réfringence différente. M. Beudant cite à ce sujet des variétés d'opale qui perdent toute leur couleur lorsqu'elles sont dans une atmosphère humide, et qui les reprennent peu à peu en les approchant du feu. Il en est d'autres, au contraire, qui ne brillent que lorsqu'elles sont humides. Quant aux belles couleurs que développe la pierre labrador, elles dépendent probablement de petites lamelles qui sont placées les unes sur les autres comme de petites écailles.

Il paraît donc bien établi que la coloration dans les substances inorganiques dépend souvent de l'arrangement des particules. Nous allons montrer maintenant que la coloration influe la plupart du temps sur la phosphorescence, par suite de l'arrangement même des particules; passons en revue d'abord les principaux phénomènes que l'on a observés touchant l'influence des couleurs sur la phosphorescence.

702. En général, les substances limpides sont moins phosphorescentes que les mêmes substances colorées. Quelques exemples vont en offrir la preuve : le spath d'Islande, coloré en jaune, lors même qu'il a 6 millim. d'épaisseur, est phosphorescent sur la pelle obscure, tandis que le spath d'Islande limpide, de 3 millim., ne l'est pas. Plusieurs variétés de chaux carbonatée colorée sont beaucoup plus phosphorescentes que les mêmes variétés qui ne le sont pas. Il paraîtrait même que l'intensité de la lumière émise serait proportionnelle à la coloration.

Les cristaux de chaux phosphatée limpide (apatite) ne deviennent lumineux, sur un support chaud, qu'au bout de 40 ou 50''; les cristaux verdâtres, de la même substance, deviennent lumineux à la première impression de la chaleur; la chaux fluatée, la cymophane, l'adulaire, etc., se comportent de même, selon que ces substances sont colorées ou non.

L'influence de la coloration a été surtout mise en évidence dans un morceau d'albâtre calcaire, de l'épaisseur de 2 millimètres, et composé de trois espèces de bandes, les unes blanches, les autres jaunes et transparentes, les troisièmes chargées d'oxide de fer. Ce morceau ayant été exposé au soleil, puis porté dans l'obscurité, les bandes jaunes sont devenues très-lumineuses; les blanches un peu moins, et celles qui étaient chargées d'oxide de fer sont restées constamment obscures. Les marbres diversement colorés produisent des effets absolument semblables, ainsi que les chaux fluatées colorées. La variété de chaux fluatée, appelée chlorophane, d'une couleur violette, devient lumineuse à une température de 15 ou 20°; elle prend alors une belle couleur verte, d'où lui est venu son nom. On lui enlève en grande partie cette faculté quand on élève sa température jusqu'à 100°; mais alors la couleur s'affaiblit.

703. Cette influence si déterminante des couleurs sur la production de la phosphorescence doit-elle être attribuée à la présence de principes colorants ou à l'arrangement des particules? En général, ces principes colorants, comme nous l'avons dit, sont ordinairement des oxides métalliques qui tendent à diminuer la phosphorescence, puisqu'ils rendent les corps meilleurs conducteurs de l'électricité. Ils produisent, par conséquent, des effets contraires à ceux que donne la coloration; il faut donc reconnaître dans celle-ci une cause qui dépend de l'arrangement des particules. Les expériences que nous allons rapporter ne laisseront aucun doute à cet égard.

704. Nous avons vu (674) que plusieurs cristaux de spath fluor, qui étaient devenus blancs par la calcina-

tion, acquéraient des teintes colorées après avoir été électrisés, et jouissaient ensuite de la phosphorescence par l'élévation de température. Ces teintes provenaient-elles d'un changement dans l'état d'agrégation des particules, ou de quelque modification dans leur composition chimique? Les expériences de M. Pearseall vont répondre à ces questions. Un certain nombre de cristaux ayant été soumis à l'expérience, un cristal, entre autres, qui paraissait avoir une couleur vert pâle, vu par réfraction, et bleu par réflexion, fut chauffé au rouge; il devint incolore, et ses bords acquirent une teinte bleue, après qu'on l'eut exposé à l'action de quarante décharges électriques. De cette expérience et de plusieurs autres que nous ne rapportons pas ici, et dans l'une desquelles les choses étaient disposées pour que les décharges trouvassent sur leur passage des matières métalliques qu'elles pouvaient transporter, le physicien en a tiré la conséquence que les teintes acquises ne provenaient pas d'un dépôt de matières étrangères, opéré par les décharges électriques, mais étaient bien dues à un changement dans la structure.

Nous pensons que, par suite de ce changement, les particules se trouvent dans un état d'équilibre instable, qui peut être détruit par des causes très-légères, telles que la lumière, une faible chaleur. Une fois qu'il n'existe plus, la phosphorescence doit être nulle ou très-affaiblie, puisque les effets électriques n'ont plus lieu, du moins en partie.

705. Si l'on examine avec attention la répartition des nuances colorées que prennent les spaths fluors électrisés, on trouve que sur quelques-uns les teintes roses sont plus vives le long des bords, et s'adoucissent sur les surfaces; que sur d'autres, les teintes bleues sont plus fortes sur les angles des fragments et sur les angles solides des fentes. On observe une distribution semblable de couleurs dans les cristaux de grande dimension et dans les échantillons où les couleurs sont inégalement

réparties. Les portions de fluor qui sont naturellement les plus colorées, sont aussi celles qui, après avoir été blanchies par l'action de la chaleur et avoir perdu leur faculté lumineuse, recouvrent le plus promptement, par l'électricité, les couleurs qui leur sont propres et la faculté lumineuse qui les accompagne.

Des effets analogues se retrouvent dans les tourmalines. Les cristaux qui sont bruns et transparents sont ceux dans lesquels la propriété électrique est la plus énergique, tandis que ceux qui sont incolores paraissent en jouir à un faible degré. Les tourmalines opaques montrent cette propriété à un haut degré; et lorsqu'elles renferment beaucoup de fer, elles en sont privées.

706. Les naturalistes citent un grand nombre de substances, et particulièrement de variétés de spath fluor et de chaux phosphatée, qui jouissent pendant quelque temps, après leur sortie du sein de la terre, de la faculté lumineuse, et qui la perdent ensuite graduellement. Il est infiniment probable que la perte de cette propriété doit être attribuée à un changement dans le groupement des particules qui s'est opéré par l'action répétée de la lumière solaire, ou par les variations de température. Cette opinion est appuyée des faits que nous avons déjà rapportés.

707. Essayons maintenant de nous rendre compte de l'effet des décharges électriques sur les corps pour les rendre phosphorescents. Ces décharges, suivant toutes les apparences et les observations que nous avons fait connaître, déterminent entre les particules des mouvements particuliers de vibration qui tendent à affaiblir, non-seulement la force d'agrégation des particules, mais encore les affinités qui unissent les éléments de ces mêmes particules. Ces décharges se renouvelant, les oscillations augmentent graduellement jusqu'au point où les particules prennent un autre mode d'arrangement qui n'est pas aussi stable que le premier. Tant qu'elles possèdent ce nouvel état d'équilibre, la moindre cause tend

à les faire revenir à leur position primitive ; mais, comme pour y revenir elles oscillent continuellement, elles se trouvent par là dans les conditions voulues pour émettre de la lumière électrique, et par suite pour manifester de la phosphorescence.

CHAPITRE IV.

DE LA PHOSPHORESCENCE DES CORPS ORGANISÉS ET DE LA MER.

§ Ier. *De la phosphorescence des lampyres.*

708. Après avoir exposé les phénomènes lumineux que produisent les corps inorganiques par l'action de la lumière, de la chaleur, du frottement des actions chimiques lentes et vives et des décharges électriques, nous avons à nous occuper des mêmes effets produits spontanément dans les corps organisés. D'abord, dans les animaux. Beaucoup d'insectes jouissent de la propriété lumineuse dans l'obscurité, particulièrement les lampyres, les taupins, etc., etc.; mais nous nous attacherons de préférence aux premiers, qui ont été l'objet des recherches de beaucoup de physiciens, entre autres de M. Macaire, dont les observations sont consignées dans la Bibliothèque universelle de Genève, 1821.

709. La lumière émise par cet animal commence à être visible entre 7 ou 8 heures du soir, dans les mois chauds de l'année, et assez ordinairement au coucher du soleil. Elle est produite au moyen d'un appareil qui existe dans l'abdomen; on aperçoit effectivement, sur la surface intérieure des trois derniers anneaux, une matière jaune blanchâtre, demi transparente, qui, vue au microscope, présente une organisation de fibriles composées de nombreuses ramifications, et qui émet une vive phosphorescence. On a remarqué que la volonté de l'animal influe singulièrement sur le phénomène, puisque le

bruit ou le mouvement suffit pour le déterminer à affaiblir la faculté lumineuse.

D'après M. Macaire, les lampyres que l'on a conservés dans une boîte, à l'abri de la lumière du jour, ne deviennent pas phosphorescents, lorsque l'on ouvre la boîte pendant la nuit; cette expérience prouve que l'influence de la lumière solaire joue ici un rôle important. Il est impossible d'expliquer encore pourquoi l'insecte obscurcit sa lumière à volonté; mais il est probable que l'action nerveuse y est pour quelque chose.

710. Pour comparer sa phosphorescence à celle des autres corps, il faut soumettre l'animal et la matière qu'il sécrète aux mêmes épreuves. Voyons d'abord l'action de la chaleur : si l'on chauffe un lampyre vivant et obscur dans de l'eau dont la température initiale est de 14 degrés centigrades, à la première sensation de chaleur l'animal s'agite beaucoup, et à 27 degrés la lumière commence à paraître; son éclat est des plus vifs à 41 degrés; l'animal meurt bientôt après, sans pour cela que la phosphorescence disparaisse, car elle continue jusqu'à 57 degrés. Si le lampyre est jeté dans de l'eau chauffée préalablement jusqu'à 45 ou 50 degrés, il meurt sur-le-champ et acquiert de suite une vive phosphorescence. Il en est encore de même avec des lampyres morts, mais non desséchés, pourvu toutefois qu'ils n'aient pas été exposés à une température de 55 à 60 degrés.

La phosphorescence diminue, comme on devait s'y attendre, en exposant un lampyre luisant à un froid artificiel; elle cesse lorsque la température descend au-dessous de 12 degrés. Si on le retire et qu'on l'expose à la chaleur, on retrouve les effets précédemment décrits.

711. En enlevant la tête d'un lampyre luisant, la lumière s'affaiblit peu à peu, et s'éteint quelques minutes après, pour reparaître ensuite, mais avec moins d'éclat qu'avant. Si l'on veut le faire reluire davantage, on emploie l'action de la chaleur.

712. Passons maintenant à l'influence de l'air sur le phénomène. Dans le vide, l'animal paraît mort pendant

quelque temps; si on le chauffe alors jusqu'à 50 degrés, la lumière ne paraît pas, tandis que s'il est chauffé préalablement dans un tube plein d'air, il jette une vive lumière. Aussitôt que l'on rend l'air, le corps de l'animal reprend ses dimensions, et une vive lumière se laisse apercevoir. Dans le gaz oxigène, il y a aussi émission d'une vive lumière, qui jette plus d'éclat que celle que l'on obtient dans l'air, à l'instant où l'on élève la température. Le gaz oxide d'azote produit à peu près les mêmes effets.

Dans l'hydrogène, un lampyre luisant y meurt bientôt, et la lumière n'y paraît plus quand on y applique même l'action de la chaleur; il en est de même dans les gaz acide carbonique, sulfureux, hydrogène carboné, etc.

713. Des décharges successives d'électricité ordinaire appliquées à des lampyres ne raniment pas leur phosphorescence quand ils l'ont perdue; il n'en est pas de même de l'électricité voltaïque. L'animal vivant et obscur, placé dans le circuit voltaïque, y devient légèrement lumineux; on augmente l'action en l'humectant d'eau, pour rendre son corps meilleur conducteur. Si l'on enlève la tête de l'animal, et que l'on introduise l'un des fils conducteurs de la pile jusqu'auprès des trois anneaux colorés, le corps ayant été humecté, la phosphorescence se manifeste alors de la manière la plus vive, surtout lorsque le courant traverse la partie inférieure de l'abdomen où se trouve l'organe lumineux.

Si l'on opère avec l'électricité voltaïque dans le vide, il n'y a aucun effet lumineux de produit. En soumettant la matière lumineuse seule à l'expérience, elle augmente d'éclat jusqu'à 41 degrés environ; après quoi, elle diminue, devient rougeâtre, preuve d'affaiblissement, et cesse tout à fait à 52 degrés. En général, elle se comporte dans les gaz comme les lampyres. Tout concourt donc à faire rentrer les phénomènes lumineux propres à ces derniers dans la phosphorescence spontanée.

On voit par là que la phosphorescence dans les ani-

maux, particulièrement dans les lampyres où elle se manifeste avec éclat, est le résultat d'une action chimique que domine la volonté de l'animal, puisqu'il a la faculté de la diminuer insensiblement jusqu'au point de la faire disparaître tout à fait. Ce phénomène rentre donc, nous le répétons, jusqu'à un certain point, dans la phosphorescence spontanée.

§ II. *De la phosphorescence de l'agaric de l'olivier et de quelques autres champignons.*

714. Le phénomène de la phosphorescence se produit non-seulement dans les corps inorganiques et les animaux, mais encore dans les végétaux. Il ne peut en être autrement, puisque ce phénomène a lieu quand les particules des corps éprouvent un déplacement suffisant pour que l'électricité, qui devient libre, se manifeste à nos yeux par des effets lumineux. Jusqu'ici on a fait peu de recherches sur la phosphorescence des végétaux : nous nous bornerons à quelques indications générales, pour montrer la nécessité de multiplier les expériences.

Linné avait déja décrit un *byssus phosphoreus*, que plusieurs botanistes assurent être phosphorescent. M. Delille, qui s'est occupé de la phosphorescence de ce byssus et de quelques autres champignons, a observé encore ce phénomène sur le champignon de l'olivier, dans les environs de Montpellier. Il a remarqué que l'hymen ou la face inférieure lamellée est la seule partie qui soit lumineuse ; et comme cette face est tournée vers la terre, ce n'est que le reflet de la lumière qui peut faire apercevoir le phénomène pendant la nuit.

Cet agaric, quand il commence à croître, est phosphorescent pendant plusieurs nuits, même lorsqu'il ne fait plus partie de l'arbre où il croît habituellement. Il commence à devenir lumineux peu de temps avant la nuit, et continue à l'être jusqu'après le soleil levé. M. Delille a observé qu'il ne donne jamais de lueur que la nuit,

quelque grande que soit l'obscurité où on le tienne renfermé pendant le jour. Il semblerait résulter de cette observation, que l'influence soutenue de la lumière est une condition indispensable, comme dans le lampyre, pour la manifestation du phénomène.

715. La phosphorescence est inhérente au tissu des feuillets, car les plus petites parcelles qu'on en détache restent lumineuses; le frottement détruit peu à peu cette propriété.

Diverses fleurs, telles que la capucine, le souci, etc., montrent, dit-on, des phénomènes lumineux par scintillation pendant les nuits des plus beaux jours de l'été. Ce genre de phosphorescence est analogue à celui que nous avons reconnu dans quelques substances minérales.

Nous répétons encore ici que, n'ayant que très-peu de notions sur la constitution des corps, il nous est impossible de donner une explication satisfaisante de ces effets. Nous nous contentons donc de les mentionner ici.

§ III. *De la phosphorescence de la mer.*

716. La phosphorescence de la mer a été observée depuis un temps immémorial. Le phénomène est tellement marqué dans certaines localités, que les personnes qui prennent le moins d'intérêt aux phénomènes naturels, ont dû être frappées de l'effet magique qu'il produit quelquefois.

Dans toutes les régions de l'Océan, mais particulièrement sous la zone tropicale, dès que le jour disparaît, on voit jaillir du sein des eaux une lumière phosphorique plus ou moins vive, qui, suivant toutes les apparences, est due à des animalcules ou à des matières organiques tenues en suspension dans ces eaux, et analogues à la mucosité qui suinte des poissons de mer dans lesquels la phosphorescence est développée. Cette lumière se manifeste aux crêtes des vagues qui retombent sur elles-mêmes, autour du gouvernail du vaisseau, dans les lames

qu'entr'ouvre la proue, et dans les flots qui se brisent sur les rochers et les récifs; elle se montre enfin partout où la mer est frappée. L'effet est souvent si remarquable, qu'un bâtiment, poussé par un vent violent, laisse au loin derrière lui une trace lumineuse qui s'efface insensiblement.

Il existe dans la mer une foule d'animalcules qui jouissent de la phosphorescence et dont les débris contribuent à rendre la mer lumineuse.

L'observation de MM. Quoy et Gaimard (1) prouve effectivement que les débris de corps organiques sont une des causes de la phosphorescence de la mer : étant mouillés dans la petite île de Rawak, placée sous l'équateur, ils virent un soir sur l'eau des lignes d'une blancheur éclatante; en les traversant avec leurs canots, ils voulurent en enlever une partie, mais ils ne trouvèrent qu'un fluide dont la lueur disparut entre leurs doigts. Peu de temps après, pendant la nuit, et la mer étant calme, ils virent près du vaisseau beaucoup de zones semblables, blanches et fixes; les ayant examinées avec soin, ils reconnurent qu'elles étaient produites par des zoophytes d'une petitesse extrême, et qui renfermaient en eux un principe de phosphorescence si subtil et tellement susceptible d'expansion, qu'en nageant avec vitesse et en zigzag, ils laissaient sur la mer les traînées lumineuses dont nous venons de parler. Ils mirent le fait hors de doute, en plaçant dans un bocal rempli d'eau deux de ces animalcules, qui rendirent immédiatement toute l'eau lumineuse. Ils ont constaté en outre que la chaleur est une des causes déterminantes de la faculté lumineuse de ces petits animalcules.

717. Les observations que nous avons faites nous-même, conjointement avec M. Breschet, dans les eaux de la Brenta, confirment celles de MM. Quoy et Gaimard, et prouvent que la phosphorescence de la mer peut être

(1) Annales des sciences naturelles, t. IV, p. 12.

due à une matière organique intimement combinée ou mélangée avec l'eau, analogue à celle qui recouvre les harengs et autres poissons de mer quand ils sont phosphoriques. Les eaux de cette rivière, à quelques milles de Venise, jouissent de la propriété, dans les grandes chaleurs, quand elles sont ébranlées par le plus léger choc, de devenir fortement lumineuses. L'effet peut être comparé, sans exagération, à celui que produit un bol de punch enflammé, que l'on agite avec une spatule. Le corps le plus léger que l'on jette dans l'eau suffit pour faire naître la lumière, non-seulement dans le point frappé, mais encore dans toutes les ondes provenant de l'ébranlement du liquide. Il en résulte que, dans l'obscurité la plus profonde, on peut suivre très-loin toutes les ondes liquides. Il est donc hors de doute que ce brillant phénomène est dû à l'ébranlement de l'eau, quels que soient les corps étrangers qu'elle tient en dissolution ou en suspension. Or, il ne peut y avoir qu'une matière intimement combinée ou mélangée avec elle qui puisse produire un semblable effet, puisque toutes les parties de l'eau sans exception possèdent la faculté lumineuse.

Nous devons faire remarquer que cette faculté lumineuse de l'eau diminue à mesure que l'on approche du bras de mer qui sépare Venise de l'embouchure de la Brenta, et il arrive un point où elle n'est plus sensible. Dès lors il est permis de croire que les matières organiques qui se trouvent dans l'eau stagnante de la rivière, et qui sont dans un état particulier de décomposition à la suite de la chaleur du jour, étant intimement combinées ou mélangées avec l'eau, éprouvent un ébranlement moléculaire par suite du choc communiqué à l'eau, qui suffit pour rendre celle-ci lumineuse.

Une preuve que ces matières organiques se trouvent dans un certain état de décomposition qui précède la putréfaction, c'est que si l'on tient l'eau renfermée dans des vases pendant quelques heures, elle perd sa propriété lumineuse.

CONCLUSION.

718. Nous nous sommes attaché à rapporter dans ce livre les phénomènes les plus caractéristiques de la phosphorescence, afin de présenter au lecteur, dans un cadre assez restreint, tous les faits qui peuvent le mettre à même d'établir une relation entre la lumière électrique et la lumière phosphorique. Les principes d'où nous sommes parti pour établir cette identité ne sauraient être révoqués en doute. Par exemple, il est parfaitement démontré maintenant que le dégagement de l'électricité a lieu toutes les fois que les particules des corps éprouvent un dérangement quelconque, soit dans leur constitution, soit dans leur groupement, ou bien lorsqu'elles sont décomposées. Si ces particules ne sont pas séparées, il y a recomposition plus ou moins immédiate des deux fluides dégagés, laquelle peut produire, selon la nature des corps et la tension de l'électricité, de la lumière et de la chaleur. C'est ainsi que, lorsque ces particules sont ébranlées par la percussion, le frottement, la chaleur, la lumière, ou décomposées par l'action chimique ou le choc électrique, il peut y avoir émission de lumière, surtout si les corps auxquels elles appartiennent sont de mauvais conducteurs; mais comme ces causes sont précisément celles qui produisent la phosphorescence, on est en droit d'établir l'identité entre la lumière électrique et la lumière de la phosphorescence. On est d'autant plus porté à établir cette identité, que les apparences lumineuses sont sensiblement les mêmes dans les deux cas et que tous les corps bons conducteurs de l'électricité, dans lesquels les phénomènes électriques sont rarement accompagnés d'émission de lumière dans les cas précités, sont aussi ceux qui sont dépourvus de phosphorescence. Ainsi, tout concourt donc à attribuer une origine électrique à la phosphorescence.

DE L'ÉLECTRICITÉ

ATMOSPHÉRIQUE,

ET DES

PHÉNOMÈNES QUI S'Y RAPPORTENT.

LIVRE IX.

CHAPITRE PREMIER.

DE L'ÉLECTRICITÉ DE L'ATMOSPHÈRE DANS LES TEMPS SEREINS.

§ I[er]. *Des appareils destinés à recueillir et à mesurer l'excès d'électricité libre qui se trouve habituellement dans l'atmosphère.*

719. Les effets électriques de l'atmosphère intéressent au plus haut degré la physique générale, en raison de leurs rapports plus ou moins immédiats avec un grand nombre de phénomènes naturels; aussi devons-nous les exposer avec tous les détails qu'exige leur importance. N'ayant plus à nous occuper de l'historique des découvertes qui sont relatives à cette partie de la science, nous commencerons par exposer les effets électriques les plus simples, ceux que l'on observe dans les temps sereins, lorsque aucune cause perturbatrice ne vient mélanger les diverses couches d'air situées à une certaine distance de la terre. Nous verrons alors que l'atmosphère est un

vaste réservoir d'électricité positive, dont l'intensité est soumise à des variations qui donnent deux maxima et deux minima toutes les vingt-quatre heures.

720. Pour se livrer à des observations suivies sur l'électricité atmosphérique, il faut élever sur le haut d'un bâtiment une tige de fer terminée en pointe, de 7 à 8 mètres de hauteur, isolée aussi bien que possible du toit, et mise en communication, au moyen d'une chaîne ou d'une tige métallique, avec un électromètre placé dans une pièce intérieure.

Cette chaîne, ou cette tige, communique elle-même avec la terre par l'intermédiaire d'un autre conducteur métallique, dont une portion est mobile sur un genou, afin de pouvoir établir ou interrompre à volonté la communication avec l'appareil. Dans les temps d'orage et toutes les fois que l'électricité de l'air est très-forte, il faut tenir le conducteur abaissé, dans la crainte d'être foudroyé. Cependant on peut se hasarder à faire des expériences, si on laisse une distance suffisante entre la tige et le conducteur pour transmettre à la terre une grande partie de la décharge. Ce ne sont là que des indications générales qui peuvent suffire pour établir un appareil électro-atmosphérique.

721. La principale difficulté consiste à isoler convenablement la barre de fer qui est élevée sur le bâtiment et à transmettre, sans altération sensible, à l'électromètre l'électricité qu'elle enlève à l'air. J. Read (1) est un de ceux qui a isolé avec plus de soin cette tige. Nous allons donner quelques détails sur les moyens qu'il a employés, parce qu'ils pourront être utiles aux physiciens. Son appareil (fig. 12) consiste en une perche de sapin AB, de sept mètres de longueur, fixée solidement, à sa partie inférieure, sur un support A*c* en verre enduit de vernis à la gomme laque, au plancher d'une chambre située dans l'étage le plus élevé d'une maison. L'isolement par là est

(1) Transact. philos. 1792.

plus parfait que lorsque les points d'appui sont exposés à l'air. La perche passe dans un cylindre creux de bois DD', qui traverse le plafond et le toit, et est fixé à ces derniers. Pour éviter que la pluie ne tombe dans la chambre, on attache un grand entonnoir de fer-blanc DEF sur la perche, à une petite distance au-dessus de la partie supérieure du cylindre creux. On fixe à l'extrémité supérieure du mât plusieurs fils de cuivre *ff*, de 1 à 2 millimètres de diamètre, que l'on entrelace autour du mât ; on les réunit en un seul que l'on conduit dans la chambre, puis on le termine par une boule de *b* métal de cinq centimètres de diamètre. De cette boule part un fil conducteur, qui établit à volonté la communication entre l'appareil et un électromètre ; à 4 centimètres de distance de la boule, se trouve un timbre attaché à un fil de métal qui communique avec la terre. On suspend à un fil de soie, entre le timbre et la boule, une petite balle de cuivre. Ce carillon électrique, quand il sonne, est destiné à avertir l'observateur de se mettre sur ses gardes.

722. Pour des observations accidentelles, on se sert d'une canne de ligne à pêche, formée de plusieurs parties que l'on peut démonter à volonté. La partie antérieure est terminée par une tige de verre, à l'extrémité de laquelle se trouve une pointe de métal que l'on met en communication avec l'électromètre, au moyen d'un fil de métal. Cette canne est placée ensuite en dehors de la croisée la plus élevée de la maison.

723. On emploie ordinairement plusieurs espèces d'électromètres pour accuser la présence de l'électricité atmosphérique, mais nous ne décrirons que ceux dont on fait le plus généralement usage. L'électromètre de Saussure, qui a reçu quelques modifications dont nous parlerons plus loin, est formé de deux fils fins de métal, terminés chacun par une petite balle de sureau et adaptés à une petite tige de métal, que l'on fixe à la partie supérieure d'une cloche carrée, de 5 ou 6 centimètres de côté, et dans l'intérieur de laquelle se trouvent par conséquent les deux petits pendules.

La tige est elle-même surmontée d'un conducteur terminé en pointe, composé de trois parties pouvant s'ajuster l'une dans l'autre et présentant une longueur de 8 à 10 centimètres. Ce conducteur est destiné à recueillir une plus grande quantité d'électricité. Pour préserver l'électromètre de la pluie ou de la neige, on visse, à la partie supérieure de la tige, un petit chapeau de laiton laminé, fort mince, de forme conique et d'un décimètre de diamètre. Le conducteur s'ajuste également à vis sur ce chapiteau. Une échelle divisée est appliquée sur une des faces de la cage de verre, pour apprécier les angles d'écart des deux petits pendules. L'appareil complet est représenté fig. 13.

Cet appareil donne ordinairement des signes d'électricité quand on l'élève de un à deux mètres au-dessus de la tête. Saussure a employé un moyen très-simple pour déterminer le rapport entre l'intensité de l'électricité et l'écartement correspondant des balles de sureau. Ayant pris deux électromètres désarmés, aussi égaux entre eux que possible, il électrisa l'un d'eux de manière que les boules de sureau s'écartaient de 6 lignes; avec le crochet de l'autre électromètre, qui n'était point électrisé, il toucha le crochet de celui qui l'était : à l'instant même, l'électricité se partagea également entre eux, et la divergence fut dans l'un et dans l'autre de 4 lignes. Il résulte de là qu'une di minution de moitié dans l'intensité de l'électricité n'avait réduit la divergence que de $\frac{1}{3}$. En enlevant l'électricité à l'un des électromètres et le mettant en contact avec l'autre, l'écartement fut de 2, 8. En répétant les mêmes expériences, elle ne fut plus que de 1, 9, etc. Il parvient ainsi à former une table, qui change d'un appareil à l'autre, mais que tout observateur doit avoir l'attention d'établir avant de commencer une série régulière d'observations.

724. Volta a substitué au fil métallique deux petites pailles longues d'environ 2 pouces et larges de $\frac{1}{4}$ de ligne, suspendues à deux petits anneaux très-mobiles adaptés à la tige de l'électromètre, et qui, dans l'état de

repos, sont contiguës. Ces petites pailles, quand elles sont sèches, sont beaucoup plus légères que les fils métalliques armés de petites balles de sureau, et offrent, à égalité de poids, beaucoup plus de surface; avantage précieux dans les expériences de ce genre. Si l'on prend des pailles plus grosses, on peut mesurer des intensités électriques doubles, et même quadruples. Volta a trouvé que les degrés se correspondent toujours dans le rapport donné de l'un à l'autre électromètre dans toute l'étendue de l'échelle. De plus, il a conclu, des nombreuses expériences qu'il a faites avec l'électromètre à pailles et l'électromètre à fils métalliques, terminés par des balles de sureau, que, dans celui-ci, les écartements ne sont pas proportionnels aux charges, comme Saussure l'avait déjà trouvé; tandis que, dans le premier, lorsqu'il est sensible ou médiocrement sensible, la marche est régulière jusqu'à 26°. Il a remarqué en outre que, si les pailles sont également longues, une différence sensible dans leur grosseur occasionne à peine quelques différences dans les déviations; que dès l'instant qu'elles ont moins d'un pouce de long, l'électromètre n'a plus la marche régulière des autres; enfin, qu'il est nécessaire que la petite cloche qui entoure les pailles ne soit pas trop grande, dans la crainte que l'air intérieur ne conserve trop long-temps l'électricité qu'elle leur enlève à chaque instant.

725. Malgré l'autorité de Volta, nous ne pouvons nous expliquer, d'après la loi qui régit les mouvements du pendule, comment il se fait que deux brins de paille, soumis à l'action de la pesanteur, donnent, jusqu'à 26°, des écartements proportionnels aux forces électriques. Au surplus, crainte d'erreurs, nous conseillons de construire une table des intensités suivant la méthode de Saussure.

Volta a adopté la tige métallique dont ce dernier physicien avait armé son électromètre; il a placé en outre, à l'extrémité de la pointe, un corps enflammé destiné à établir un courant d'air qui apportait

l'électricité des couches d'air environnantes : il a obtenu par ce moyen des résultats qui étaient souvent doubles de ceux qu'accusait l'appareil sans la présence du corps en ignition, mais aussi on avait à craindre des effets composés résultant de la combustion. Cette méthode doit donc être employée avec circonspection.

Quant au mode d'application de la flamme à l'extrémité du conducteur, pour qu'elle s'y maintienne le temps nécessaire et qu'elle ne s'éteigne pas par la pluie ou le vent, Volta n'a rien trouvé de plus commode que de prendre une allumette formée d'une petite mèche de coton soufré, et de la placer dans l'intérieur d'une spirale en fil de fer ajustée à la pointe du conducteur.

Pour obtenir une plus grande quantité d'électricité, il a mis en communication son appareil avec un condensateur; mais ce grand physicien, tout en avouant que l'on obtient une quantité notable d'électricité, même quand il n'en existe que très-peu dans l'atmosphère, a reconnu que ce mode d'expérimentation, quand on opère avec des plateaux en cuivre, est trop inexact pour qu'il puisse servir à des observations comparées.

Si l'on veut mesurer avec une grande exactitude l'écartement des pailles, on place à peu de distance une lunette avec un nonius.

726. On emploie aussi avec succès, pour observer l'électricité atmosphérique, un multiplicateur (1) dont le fil est isolé avec plus de soin qu'on ne le fait ordinairement; à cet effet, on met le fil de métal recouvert de soie dans une solution concentrée de gomme laque dans l'alcool, puis on l'enroule lentement autour de la caisse du multiplicateur. Le fil se recouvre ainsi d'une couche de vernis à la gomme laque, qui isole mieux les circonvolutions les unes des autres que la soie. Pour opérer avec cet appareil, on met en communication la tige métallique qui enlève de l'électricité

(1) Tom. II, p. 19.

à l'air, avec un des bouts du fil, tandis que l'autre bout communique avec le sol. Le courant produit par l'électricité libre de l'atmosphère qui s'écoule dans le sol, fait dévier l'aiguille aimantée d'un certain nombre de degrés. Tels sont les moyens employés pour recueillir et mesurer l'électricité de l'atmosphère.

§ II. *De l'électricité libre de l'atmosphère dans les temps sereins.*

727. On sait depuis long-temps qu'il existe toujours dans l'atmosphère, quand le temps est serein, un excès d'électricité positive qui est assez faible peu avant le lever du soleil, augmente peu à peu avec le lever, puis rapidement, et arrive ordinairement quelques heures après à son premier maximum. Cet excès diminue d'abord rapidement, ensuite lentement et arrive à son minimum quelques heures avant le coucher du soleil; il recommence à monter dès que le soleil s'approche de l'horizon, et atteint peu d'heures après son second maximum, puis diminue jusqu'au lever du soleil; il suit ensuite la marche indiquée précédemment.

Les expériences de Schubler vont préciser ces indications mieux qu'on ne l'avait fait avant lui; elles nous feront connaître non-seulement les heures où les maxima et les minima ont lieu, mais encore les variations qu'ils éprouvent suivant les saisons.

Dans l'impossibilité où nous sommes de rapporter les résultats de toutes les expériences qui ont été faites par ce physicien, plusieurs fois par jour, du mois de mai 1811 au mois de juin de l'année suivante, nous nous bornerons à donner plusieurs tableaux qui permettront de voir immédiatement les lois qu'il en a déduites. Le tableau N° I renferme les observations faites dans la journée du 11 mai 1811, à des intervalles très-rapprochés, par un temps qui est resté parfaitement serein pendant une grande partie de la journée; le tableau N° II, les observations faites dans les mois d'octobre et

de novembre 1811; le tableau N° III, la récapitulation des observations faites du mois de juin 1811 au mois de mai 1812.

TABLEAU N° I.

11 MAI 1811.

HEURE.	ÉLECTROMÈTRE.	HYGROMÈTRE de Saussure.	THERMOMÈTRE.	TEMPS.
Matin,				
4 heures	+ 5	88	+ 9,3	Parfaitement serein; peu à peu le ciel devient vaporeux; la rosée se forme.
5	+ 6 1/2	88	+ 9,5	
6	+ 8	87	10,5	
7	+11	86	12,1	
8	+18	84	13,5	
9	+10	76	15,5	L'horizon s'éclaircit complètement; la couleur du ciel devient d'un bleu pur.
10	8	70	17,0	
12	7	63	20,1	
Après-Midi,				
2	6 1/2	61	21,6	
4	5 1/2	60	21,3	
5	5	62	20,9	
6	+ 6	65	20,0	Il se forme de nouveau des vapeurs et la rosée du soir.
7 1/2	+ 8	72	17,5	
8 1/2	+12	83	15,5	
9 1/2	+ 8	86	13,0	Parfaitement serein.
10 1/2	7	88	12,1	
12	6 1/2	88	11	

TABLEAU N° H. OCTOBRE.

Jours.	INTENSITÉ DE L'ÉLECTRICITÉ. HEURES. 7 mat.	8 1/2 mat.	2 soir.	7 soir.	10 soir.	ÉTAT DE L'ATMOSPHÈRE.
1	+ 8	+19	+ 8	+20	+ 5	Temps serein, chaud. Therm. le soir à 2 h. + 16,8.
2	+ 8	+ 8	+38	+16	+11	à 2 h. du s. legers nuages orageux accompagnés de pluie.
3	+ 7	+18	+ 9	+15	+ 5	Temps très-serein clair. A 2 h. du soir therm. + 18.
4	+ 6	+14	+ 6	+38	+ 3	Le matin clair; à 2 h. du soir therm. + 20,7; 7 h. pluie.
8	+10	+ 7	+ 4	+25	+ 8	Couvert le matin; le soir clair, ciel étoilé.
11	+ 5	+17	+ 5	+22	+10	Clair; à 2 h. du soir therm. + 18,2.
13	- 14	0	+ 6	+17	+ 6	Un peu de pluie jusqu'à 8 h. Le soir, clair.
16	+ 8	+15	+ 9	+22	+11	Clair; à 2 h. du soir therm. + 17,3.
22	+ 7	+13	+ 5	+27	+10	Clair; à 7 h. du soir, brouillard.
27	—20	—14	0	— 2	—40	Vent du sud et pluie; baromètre très-haut.
28	+ 7	+ 9	+ [illegible]	+30	+ 8	Variable; ensuite clair. 7 h. du soir, brouillard.
29	+ 4	+ 5	—60	+14	+ 5	Couvert; à 2 h. forte pluie. Le soir, clair.
30	+ 5	— 6	+ 5	— 6	— 4	Couvert le matin. Pluie le soir.
31	+ 5	+ 7	+20	+ 9	+ 5	Couvert. A 2 h. du soir un peu de pluie; ensuite clair.
Tot.	+80 —34	+42 —20	120			

NOVEMBRE.

Jours.	INTENSITÉ DE L'ÉLECTRICITÉ. HEURES. 7 1/2 mat.	9 mat.	2 soir.	6 1/2 soir.	10 soir.	ÉTAT DE L'ATMOSPHÈRE.
1	+ 5	+ 7	+ 6	+12	+ 5	Couvert le matin; clair le soir.
2	+ 4	+14	+ 5	+20	+ 7	Clair, puis quelques nuages.
3	+ 5	+13	+ 5	+30	+10	Clair et chaud; à 2 h. du soir le therm. est à + 16,2.
4	+ 5	+13	+ 8	+20	+ 2	Clair; couvert le soir; à 2 h. le therm. + 16,1.
12	+ 4	+ 5	—50	+ 7	+ 4	Couvert. A 2 h. du soir, pluie.
15	+ 4	0	+ 3	—20	+ 3	Couvert. Le soir, pluie.
19	+ 6	+20	+28	+17	+ 7	Clair, froid, brouillard. Le matin therm. à — 2,3.
22	+ 7	+13	+ 7	+14	+ 6	Clair, froid. Le matin therm. à — 2,6.
26	+10	+13	+15	+17	+11	Variable; couvert. La plupart du temps, brouillard.
27	+ 7	+13	+20	+14	+17	Couvert et quelques brouillards.
28	+11	+14	+ 9	+17	+ 5	Le plus souvent couvert. Nébuleux; vent du nord, sans toutefois que le temps fût très-froid.
29	+ 7	+ 7	+15	+13	+ 4	
30	+ 3	+ 4	+21	+13	+ 8	
Tot.	78	138	122	194		

[illegible]

TABLEAU N° III.

Récapitulation des observations sur l'électricité au mois de

MOIS.	ÉTAT DU CIEL.	FORCES MOYENNES DE L'ÉLEC PENDANT LES DIVERSES			
		Heures.	1er minimum au lever du soleil, ou peo de temps avant. A.	Heures.	1er maximum quelqoes heur. après le lever du soleil. B.
Juin 1811	Cial serain	4 jusqu'à 5 Matin.	+ 5,64 + 3,40 + 4,80	M. 7 1/2 jusqu'à 6.	+12,85 + 8,20 +10,48
Juillet	Id.	5 — —	+ 4,87 + 4,00 + 4,63	6 1/2 — —	+13,50 + 6,75 +11,65
Août	Id.	5 — —	+ 5,87 + 5.00 + 5,73	7 1/2. — —	+15,93 + 8,33 +14,75
Septembre	Id.	7 — —	+ 5,54 + 5.50 + 5.53	8 — —	+15,43 + 8,00 +13,95
Octobre	Id.	7 — —	+ 7,25 + 5,20 + 6,40	8 1/2. — —	+15,35 + 8,12 +12 22
Novembre	Id.	7 — —	+ 5,50 + 6,00 + 5,85	9 — —	+14,42 + 7,86 + 9,95
Décembre	Id.	8 — —	+12,40 + 8,93 + 9,80	10 — —	+18,80 +12,00 +13,70
Janvier 1812	Id.	7 — —	+14,75 + 9,76 +10,71	10 — —	+31,00 +14,00 +17,23
Février	Id.	7 — —	+ 7,54 + 6,60 + 6.66	9 — —	+25,55 + 9,60 +18,90
Mars	Id.	6 1/2 — —	+ 5,37 + 3,00 + 3,36	8 1/2. — —	+13.00 + 6,16 + 8,92
Avril	Id	6 — —	+ 4,00 + 3,00 + 4,36	8 — —	+14,75 + 6,50 +12 90
Mai	Id.	5 — —	+ 4,15 + 3,50 + 4,08	7 — —	+13,00 + 6,00 +11,27
Moyenne de ces 12 mois	Id.		+ 6,90 + 5,32 + 5,99		+16.95 + 8,46 +12,16

atmosphérique à Stuttgard, du mois de juin 1811
mai 1812.

TRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE

HEURES DE CES MOIS.

Heures.	2e minimum après midi de 12 heures jusqu'à 4 et 5. A'.	Heures	2e maximum quelques heur. après le couch. du soleil. B'.	RAPPORTS de la puissance électrique pendant les maxima et les minima, et estimation de leur quantité.	PUISSANCE moyenne de l'électricité en général.	La plus forte électricité pendant les jours sereins.
Soir. 2	+ 3,92	Soir. 10	+12,00	1 : 2,87	+ 8,60	+ 16°.
—	+ 3,83	—	+ 7,33	1 : 2,13	+ 6,67	d. 7°.
—	+ 4,22	—	+10,44	1 : 2,31	+ 7,62	soir 9 1/2.
2	+ 4,56	9 1/2	+14,43	1 : 2,96	+ 9,50	+ 22°.
—	+ 4.00	—	+ 7.00	1 : 1,71	+ 6,35	d. 23° soir.
—	+ 4,42	—	+12,95	1 : 2.49	+ 8,35	d. 7. 29. 30 M.
2	+ 5,47	8 1/2	+16,11	1 : 2,82	+10,84	+ 25°.
—	+ 4,66	—	+10,00	1 : 1,89	+ 6,90	d. 3 soir 8 1/2
—	+ 5,35	—	+15,20	1 : 2 70	+10,25	d. 22 M. 8.
2	+ 5,00	8	+15,61	1 : 2,94	+10,39	+ 25°.
—	+ 3,50	—	+ 9,00	1 : 1 88	+ 6,33	d. 17 soir.
—	+ 4,76	—	+14,80	1 : 2,79	+10,25	
2	+ 6,28	7 1/2	+19,71	1 : 2,59	+12,33	+ 28°.
—	+ 4,83	—	+ 8,00	1 : 1,60	+ 6,42	d. 23 soir.
—	+ 6,03	—	+18,60	1 : 2.47	+10,13	
2	+ 8,22	7	+17,44	1 : 2,32	+11,77	+ 30°.
—	+ 8,50	—	+10,66	1 : 1,27	+ 8,13	d. 3 soir.
—	+ 8.40	—	+13,57	1 : 1,64	+10 73	
2	+12,85	6	+20,71	1 : 1,56	+16.29	+ 35°.
—	+15,31	—	+19,41	1 : 1,29	+14.12	d. 11 soir.
—	+14,56	—	+19,84	1 : 1,37	+14.72	
2	+19,10	6	+31,83	1 : 1,85	+24,45	+ 40°.
—	+16,86	—	+25,64	1 : 1,48	+16,12	d. 3 soir.
—	+17,52	—	+27,50	1 : 1,58	+18,13	d. 29 M.
2	+16,27	7	+24.54	1 : 1,03	+18,47	+ 55°.
—	+ 8,50	—	+13,10	1 : 1,50	+ 9,70	d. 4 soir.
—	+11,30	—	+19,80	1 : 2,03	+14,10	
2	+ 6,42	7 1/2	+14.00	1 : 2.29	+ 9,89	+ 21°.
—	+ 3,83	—	+ 7,40	1 : 1,98	+ 5,00	d. 4 soir.
—	+ 5,80	—	+ 9,66	1 : 2,02	+ 6,93	
2	+ 4,75	8 1/2	+ 7,58	1 : 2,55	+ 7,77	+ 25°.
—	+ 3,50	—	+ 5,50	1 : 1,84	+ 4,62	d. 14 M.
—	+ 4.63	—	+ 7,36	1 : 2,25	+ 7,31	
2	+ 4,33	9	+10,27	1 : 2,75	+ 7,93	+ 20°.
—	+ 4,50	—	+ 5,80	1 : 1,47	+ 4,95	d. 5 M.
—	+ 4,36	—	+10,00	1 : 2,33	+ 7,41	
	+ 8,09		+17,61	1 : 2,27	+12 23	+ 55°.
	+ 6,81		+10,73	1 : 1,58	+ 7,83	d. 4 février
	+ 7,61		+14,97	1 : 1,99	+10,82	soir.

728. Les observations consignées dans le tableau N° I nous indiquent un premier minimum à 4 heures du matin, un premier maximum à 8 heures, un deuxième minimum à 5 heures, et un deuxième maximum à 8 heures $\frac{1}{2}$ du soir.

Les observations faites en juin, juillet, etc., que nous ne rapportons pas ici, ainsi que celles qui sont consignées dans le tableau N° II, nous montrent que les maxima et les minima présentent quelquefois de petites différences dans les heures où ils ont lieu. Mais en prenant des moyennes pour chaque mois, on a des résultats sur lesquels on peut sensiblement compter; par exemple, en juin, au commencement, les maxima se sont montrés le plus souvent vers 7 h. du matin, 9 h. et 9 h. $\frac{1}{2}$ du soir, tandis qu'à la fin du mois ils ont eu lieu à 6 h. du matin et à 10 h. du soir.

En juillet, les périodes électriques ont été peu prononcées dans la première moitié, en raison de l'état de l'atmosphère; mais dans la deuxième moitié, les deux maxima se sont montrés à 7 h. du matin, à 9 et à 10 h. du soir. Nous devons ajouter, d'après M. Schubler, que les périodes électriques ont présenté leur plus grande intensité les jours où l'on aperçut dans l'atmosphère, par un temps constamment sec et chaud, des traînées lumineuses ayant de l'analogie avec les aurores boréales.

En août, dans les 10 premiers jours, le temps ne permit pas de faire des observations comparables; mais à partir du 10, le temps étant devenu plus clair, les maxima se sont montrés à 8 h. du matin et à 8 h. $\frac{1}{2}$ du soir; et ainsi de suite.

En septembre, les maxima correspondaient ordinairement à 8 h. $\frac{1}{2}$ du matin et à 7 h. $\frac{1}{2}$ ou 8 h. du soir.

En octobre, comme on peut le voir dans le tableau N° II, le 8, les maxima se sont montrés à 7 h. du matin et à 7 h. du soir, et les deux minima à 2 h. et à 10 h. du soir; le 16, les deux premiers à 8 h. $\frac{1}{2}$ et

à 7 h. du matin, et les deux derniers à 2 h. et à 10 h. du soir. Il en a été de même pour ces derniers, les 22, 28, 29 et 31.

En novembre, les maxima ont eu lieu à 9 heures du matin et à 6 $\frac{1}{2}$ du soir, et les deux minima à 7 $\frac{1}{2}$ du matin et à 10 h. du soir; ainsi de suite.

Dans le tableau N° III, nous voyons insérées aux colonnes A, B, A', B', les valeurs moyennes des minima et des maxima de chaque mois, ainsi que les heures où ils ont eu lieu. On trouve dans chaque colonne trois groupes de nombre qui indiquent les plus fortes valeurs, les moindres, et les valeurs intermédiaires. Du mois de juin 1811 au mois de janvier 1812, non compris, l'heure du premier minimum a continuellement avancé, tandis que de janvier en mai elle a diminué.

Il en a été de même, sauf quelques petites différences, pour l'heure du premier maximum; l'époque du deuxième minimum a été invariable; quant au dernier maximum, il a suivi une marche inverse du premier.

En jetant encore les yeux sur le tableau N° III, nous reconnaissons cette vérité qui a été constatée depuis long-temps, savoir, que la force de l'électricité, pour les deux maxima et les deux minima, va en croissant depuis le mois de juillet jusqu'au mois de janvier compris, de sorte que la plus grande intensité a lieu en hiver et la plus faible en été; aussi trouve-t-on dans les mois d'hiver que, par les jours sereins, l'augmentation de l'électricité est toujours en rapport avec l'accroissement du froid. Les moyennes des douze mois, qui sont placées au bas du tableau, nous apprennent encore que le premier minimum et le premier maximum ont un peu moins d'intensité que les deuxièmes minimum et maximum.

729. M. Arago, qui a commencé à se livrer à des observations suivies sur l'électricité de l'atmosphère, a constaté également l'existence de deux maxima et de deux minima chaque vingt-quatre heures; il s'est servi

à cet effet de l'électromètre à pailles et du multiplicateur. Nous rapportons, dans le tableau N° IV, les résultats qu'il a obtenus, en mars 1830, pendant les jours sereins, afin que le lecteur puisse voir par lui-même, en consultant des observations qui ont été faites avec une grande exactitude, la marche de l'électricité dans le cours d'une journée.

TABLEAU N° IV.

Observations sur l'électricité atmosphérique, faites à l'observatoire de Paris, par M. Arago, dans le mois de mars 1830, pendant des jours sereins.

Heures.	Intensité.	État de l'atmosphère.	Vent.
		Mars 3.	
7 20 M.	+ 8,50	serein	ENE.
7 30 M.	+ 1,45	id.	E.
7 50 M.	+ 2,30	id.	id.
8 0 M.	+ 1,00	id.	id.
8 30 M.	+ 2,60	id.	id.
9 0 M.	+ 6,25	id.	id.
9 50 M.	+ 5,10	id.	id.
9 45 S.	+ 3,00	id.	id.
9 15 S.	+ 0,85	id.	id.
		4.	
7 10 M.	+ 0,55	serein	ESE.
7 45 M.	+ 0,35	qqs. nuages à l'est.	E.
8 0 M.	+ 1,00	qqs. légers nuages.	id.
8 15 M.	+ 1,50	id.	id.
8 30 M.	+ 0,50	id.	ESE.
9 5 M.	+ 0,65	id.	id.
6 45 S.	+ 11,50	serein	E.
9 15 S.	+ 0,00	id.	assez fort.
		6.	
7 30 M.	+ 1,50 (l'écartement est très-variable: on a pris la moyenne.)	serein	SE.
7 45 M.	+ 0,75	id.	id.
8 0 M.	+ 9,50	id.	id.
8 30 M.	+ 6,00	id.	id.
9 0 M.	+ 15,00	id.	id.
9 15 M.	+ 23,50	id.	id.
10 20 M.	+ 9,00	id.	id.
5 45 S.	0,00	id.	E.
7 0 S.	+ 0,20	id.	E.
9 50 S.	+ 10,00	id.	id.

Heures.	Intensité.	État de l'atmosphère.	Vent.
		Mars 7.	
7 45 M. .	.. + 0,10 ..	..... serein	.... E.
8 0 M. .	.. + 0,30 ..	..... id.	.... id.
8 30 M. .	.. + 0,50 ..	..... id.	.... id.
9 0 M. .	..... 0,00 ..	..... id.	.... id.
2 20 S. .	..... 0,00 ..	..... id.	.... ENE.
4 0 S. .	..... 0,00 ..	..... id.	.... id.
5 45 S. .	..... 0,00 ..	..... id.	.... E.
6 45 S. .	.. + 1,00 ..	..... id.	.... id.
8 15 S. .	.. + 2,80 ..	..... id.	.... id.
		14.	
7 40 M. .	.. + 1,65 ..	..... serein	.... OSO.
8 0 M. .	.. + 3,25 ..	..... id.	.... id.
8 20 M. .	.. + 14,00 ..	..... id.	.... id.
8 30 M. .	.. + 18,00 ..	..... id.	.... id.
8 45 M. .	.. + 24,00 ..	..... id.	.... id.
9 0 M. .	+ Plus de 26	..... id.	.... id.
10 M. .	.. + 21,00 ..	..... id.	.... SSO.
11 15 M. .	.. + 5,25 ..	..... id.	.... id.
Midi.	.. + 2,00 ..	..... id.	.... id.
id. 45 ...	.. + 4,50 ..	..... id.	.... id.
1 20 S. .	.. + 5,50 ..	..... id.	.... id.
1 40 S. .	.. + 3,00 ..	..... id.	.... id.
5 45 S. .	..... 0,00 ..	.... vaporeux	.... S.
6 45 S. .	.. + 0,20 ..	..... vapeurs	.... id.
7 15 S. .	.. + 2,00 ..	..... id.	.... id.
		16.	
8 0	.. + 4,5 (l'électromètre se décharge souvent en un instant.	..... serein	OSO assez fort.
8 15 M. .	.. + 1,5 id. .	..... id.	.... id. id.
8 30 M. .	.. + 3,0 id. .	..... id.	.... O assez fort.
8 45 M. .	.. + 2,0 id. .	..... id.	.... id. id.
9 0 M. .	.. + 4,3 id. .	..... id.	.... id. id.
10 5 M. .	.. + 1,0 id. .	... qqs. nuages ...	... SO. assez fort.
Midi.	.. + 0,10 ..	... très nuageux ...	OSO. assez fort.
Midi 45	.. + 0,05 ..	..... id.	.... SO. fort.
1 30 S. .	.. + 0,10 ..	..... id.	.... id. id.
7 15 S. .	.. + 3,00 ..	... quelq. écl. ...	.... O.

Heures.	Intensité.	État de l'atmosphère.	Vent.
		Mars 20.	
7 30 M..	.. + 0,30 ..	qqs. légers nuages.	.... NO.
8 0 M..	.. + 0,10 ..	... lég. nuages ...	.... id.
9 0 M..	.. + 1,00 ..	.. qqs. petits écl. ..	.... O.
10 45 M..	.. + 9,50 ..	... très nuageux ..	.... O.
5 0 S..	.. + 0,05 ..	..... serein	.... O très-fort.
5 50 S..	.. + 0,65 ..	...... id.	.... ONO.
6 15 S..	.. + 0,60 ..	...... id.	.... id.
6 45 S..	.. + 2,70 ..	...... id.	.... id.
7 0 S..	.. + 2,60 ..	...... id.	.... id.
7 30 S..	.. + 5,00 ..	...... id.	.... id.
7 50 S..	.. + 7,35 ..	...... id.	.... id.
8 10 S..	.. + 23,00 ..	...... id.	.... id.
8 30 S..	.. + 8,60 ..	...... id.	.... id.
9 0 S..	.. + 6,50 ..	...... id.	.... id.
10 0 S..	.. + 4,75 ..	...... id.	.... O.
11 0 S..	.. + 5,20 ..	...... id.	.... ONO.
11 45 S..	.. + 4,23 ..	...... id.	.... id.
		25.	
7 30 M..	.. + 0,10 ..	..... serein	.... OSO.
7 45 M..	.. + 0,30 ..	...... id.	.... id.
8 0 M..	.. + 0,30 ..	...... id.	.... id.
8 15 M..	.. + 0,30 ..	...... id.	.... id.
8 30 M..	.. + 0,30 ..	...... id.	.... id.
8 45 M..	.. + 0,60 ..	...... id.	.... id.
9 0 M..	.. + 4,80 ..	...... id.	.... id.
9 30 M..	.. + 8,00 ..	...... id.	.... id.
10 0 M..	.. + 10,00 ..	...... id.	.... id.
10 30 M..	.. + 13,50 ..	qqs. pet. nuages au SO	.... O.
11 0 M..	.. + 15,50 ..	.... id. au S.	.... ONO.
Midi.....	.. + 9,85 ..	.. qqs. pet. nuages..	.... NO.
Midi 30 .	.. + 7,30 ..	...... id.	.... O.
1 20 ...	.. + 5,00 ..	.... beau ciel	.... id.
6 15 ...	.. + 24,00 ..	vapeurs près de l'hor.	.... NO.
7 15 ...	.. + 21,00 ..	..... serein	.... id.
8 0 ...	.. + 27 et plus	...... id.	.... NNO.
		28.	
7 0 M..	.. + 7,80 ..	..... serein	N à peine sensibl.
7 15 M..	.. + 6,50 ..	...... id.	id. id.

Heures.	Intensité.	État de l'atmosphère.	Vent.
		Mars 28.	
7 30 M..	.. + 0,50 ..	..... serein	N à peine sensibl.
7 45 M..	.. + 9,00 ..	...... id.	... id. id.
8 0 M..	.. + 9,50 ..	...... id.	... id. id.
8 20 M..	.. + 19,50 ..	...... id.	... id. id.
8 45 M..	.. + 27 et plus	...... id.	... id. id.
9 0 M..	.. + 27 et plus	...... id.	... id. id.
10 15 M..	.. + 22,50 ..	...... id.	NE. très-faible.
11 25 M..	.. + 5,10 ..	...... id.	.... NE.
Midi 10 .	.. + 2,25 ..	...... id.	.... id.
id. 35 .	.. + 1,15 ..	...... id.	.... id.
1 0 S..	.. + 2,25 ..	...... id.	.... id.
1 45 S..	.. + 4,00 ..	...... id.	.... id.
2 15 S..	.. + 3,00 ..	...... id.	.... id.
11 10 S..	..... 0,00 ..	...... id.	.... NNE.
		30.	
7 10 M..	.. + 6,00 ..	..... serein	ESE. à peine sens.
7 30 M..	.. + 21,00 ..	...... id.	... id. id.
7 45 M..	.. + 6,00 ..	...... id.	... id. id.
8 0 M..	.. + 11,00 ..	...... id.	... id. id.
8 15 M..	.. + 12,00 ..	...... id.	... id. id.
8 35 M..	+ contact de la paroi en 40" ..	...... id.	... id. id.
9 0 M..	+ id. en 35"	...... id.	... id. id.
10 0 M..	+ id. en 22"	...... id.	... id. id.
11 5 M..	+ id. en 36"	...... id.	... id. id.
Midi	.. + 0,50 ..	...... id.	... id. id.
id. 40 ...	. + 0,00 ..	...... id.	... id. id.
1 0 soir .	.. + 0,03 ..	...... id.	... id. id.
1 15. S..	.. + 0,00 ..	...... id.	... id. id.
1 30 S..	.. + 0,03 ..	...... id.	... id. id.
2 0 S..	.. + 0,25 ..	...... id.	NO. très-faible.
3 15 S..	.... 0,00	...... id.	.... S.
6 15 S..	+ contact de la paroi en 9" ...	...... id.	.... id.
10 0 S..	.. + 0,00 ..	...... id.	.... id.

730. En parcourant les observations consignées dans ce tableau, nous trouvons :

Le 3, un premier minimum à 7 h. 20 min., un premier maximum à 9 h. du matin;

Le 4, un premier minimum à 7 h. 10 min. environ; un premier maximum à 8 h. 15 min.;

Le 6, le premier maximum à 9 h. 15 m. du matin;

Le 14, idem, à 9 heures;

Le 16, idem, à 9 heures;

Le 20, à 8 h. 10 min.;

Le 28, idem, à 9 heures.

La moyenne relative au premier maximum est d'environ 8 h. 48 min. du matin.

Schubler avait trouvé pour le mois de mars 1811, 8 h. $\frac{1}{2}$; on peut donc dire que, dans ce mois, l'électricité atmosphérique atteint son premier maximum entre 8 et 9 heures du matin.

Toutes les observations n'ayant pas été recueillies à des heures suivies, on ne peut préciser avec exactitude l'heure du second maximum et celle des deux minima; mais il est facile de constater leur existence dans quelques-unes des séries.

D'autres observations de M. Arago, qui ne sont pas consignées ici, constatent un fait important, c'est qu'il arrive quelquefois que le conducteur donne des étincelles par un temps parfaitement serein.

Quand nous aurons exposé les effets électriques de l'atmosphère pendant les temps couverts, la pluie, la neige et les orages, nous tâcherons de remonter aux causes qui produisent non-seulement l'excès d'électricité positive que l'on trouve toujours dans l'air lorsque le temps est serein, mais encore les maxima et les minima.

CHAPITRE II.

DE L'ÉLECTRICITÉ DE L'ATMOSPHÈRE DANS LES TEMPS COUVERTS, PENDANT LA PLUIE, LA NEIGE ET LES ORAGES, ET DES CAUSES LOCALES QUI LA FONT VARIER.

§ Ier. *De l'électricité de l'atmosphère dans les temps couverts, pendant la pluie, la neige et les orages.*

731. Les observations suivies que M. Schubler a faites du mois de juin 1811 au mois de mai 1812, non-seulement lorsque l'atmosphère était dans un état serein, mais encore lorsqu'il était troublé par une cause quelconque, vont encore nous servir à tirer des conséquences générales sur les phénomènes électriques qui se manifestent dans ces diverses circonstances. Le tableau N° V renferme le résumé des observations qu'il a faites pendant le temps susmentionné.

TABLEAU N° V.

Récapitulation des observations faites à Stuttgard, sur l'électricité atmosphérique, pendant des temps non sereins.

Mois.	ÉLECTRICITÉ PENDANT LA PLUIE OU LA NEIGE. Degré supérieur de l'électricité		Force moyenne de l'électricité		ÉLECTRICITÉ PAR LES TEMPS COUVERTS		Température moyenne et quantité de pluie pendant ces mois.
	Positive.	Négative.	Positive.	Négative.	Force moyenne.	Plus grande force.	
Juin.	+ 400, le 1er par on orage et de la pluie; grêle à 5 heures.	— 600, le 30 par un orage accompagne d'une forte pluie; elle alla à + 400 en alternant.	+ 235 pendant 9 jours.	— 275 pendant 9 jours.	+ 16,0	+ 20° le 23 m. 6 h.	+ 15,80 5,71 pouces de haut.
Joillet.	+ 600, le 3 soir, à 4 h., avec un orage très-fort.	— 500, le 16 soir a 4 h. avec un orage et de la pluie. Au commencement elle etait à + 50.	+ 400 pendant 5 jours.	— 280 pendant 5 jours.	—	—	+ 16,62 1,05 pouc.
Août.	+ 500, le 20 matin, 7 h. avec un orage et de la pluie qui s'étendait très-loin.	— 140, le 28 soir 4 h avec de la pluie.	+ 290 pendant 7 jours.	— 80 pendant 7 jours.	+ 25,0	+ 30 le 19 m. 7 h.	+ 14,33 1,66 pouc.
Sept.	+ 30, le 27 soir 7 h. avec une petite pluie.	— 10 matin 11 h. le 25 avec une petite pluie.	+ 30 pendant 1 jour.	— 10 pendant 2 jours.	+ 20,5	+ 25 le 18 matin.	+ 11,29 0,70 pouc.
Oct.	+ 38, le 4 soir 7 h. avec de la pluie.	— 60, le 20 soir 2 h. Il tombait une forte pluie.	+ 20 pendant 5 jours.	— 31 pendant 6 jours.	+ 18,0	+ 30 le 28 s. 7 h.	+ 11,30 1,89 pouc.
Nov.	+ 55, le 11 soir 5 h. Une forte pluie.	— 50, le 12 soir 2 h. avec de la pluie.	+ 24 2 fois avec de la pluie; 1 fois avec de la neige.	— 25 3 fois avec de la pluie.	+ 18,1	+ 28 le 19 a. 2 h.	+ 5,10 0,84 pouc.
Décem	+ 60, le 23 soir 6 h. avec de la neige et du vent.	— 4"0, le 24 soir 2 h. avec de la pluie et du vent.	+ 82 9 fois avec de la neige; 1 fois avec de la pluie.	— 157 3 fois avec la pluie.	+ 32,7	+ 36	+ 1,50 1,42 pouc.
Janv	+ 70, le 13 soir 2 h. avec beaucoup de neige.	— 20, le 21 soir 7 b. avec de la neige; l'électricite alternait de + 20.	+ 40 7 fois avec la neige.	— 17,3, 2 fois avec la neige; 1 fois avec la pluie.	+ 34,1	+ 44 le 30 s. 6 h.	— 2,45 1,06 pouc.
Févr.	+ 90, le 16 soir 7 h avec de la neige et de la pluie.	— 150, le 16 soir 5 h. avec de la pluie. Elle alterna avec de l'électricité positive.	+ 41 2 fois avec la pluie; 1 fois avec la neige.	— 44 8 fois avec la pluie; 1 fois avec la neige.	+ 33,2	+ 55 le 4 s. 7 h.	+ 3,02 1,72 pouc.
Mars.	+ 200, le 5 2 h du soir, avec de la neige et du gréall.	— 340, la 22 soir 5 h. avec une forte pluie. Elle alternait avec + 110.	+ 74 6 fois avec la pluie; 2 fois avec la neige.	— 65 8 fois avec la pluie; 3 fois avec la neige.	+ 21,0	+ 21 le 20 m. 9 h.	+ 3,85 1,61 pouc.
Avril.	+ 50, le 9 soir 2 h. avec de la neige.	— 80, le 22 soir 8 h. avec de la pluie.	+ 40 pendant 4 jours avec de la neige.	— 58 pendant 5 jours avec de la pluie.	+ 15 5	+ 17 le 7 m.	+ 4,28 1,26 pouc.
Mai.	+ 600, le 16 à 8 h avec une tempête accompaguée d'une forte pluie.	— 600, le 29 soir 8 h. Orage violent suivi de tempête et de pluie.	+ 186 avec de la pluie pendant 9 jours.	— 179 avec de la pluie pendant 6 ours.	+ 14,0	+ 14,0 le 20 matin.	+ 11,08 2,14 pouc
Moyenne.	+ 600 est la plus forte moyenne.	— 600. — 245.....	+ 117 pendant 71 jours.	— 101 pendant 69 jours.	+ 22,5	+ 55,0	+ 7,97 21,06 pouc.

732. En parcourant les résultats consignés dans ce tableau et nous reportant à ceux qui sont compris dans le tableau N° III, nous voyons que l'électricité libre qui se trouve dans l'atmosphère, quand le temps est couvert, est encore positive, et que sa force est plus grande en hiver qu'en été; que pendant les orages, ou lorsqu'il pleut ou qu'il neige, l'électricité est tantôt positive, tantôt négative, et que son intensité est alors beaucoup plus considérable que dans les temps sereins.

733. Si nous récapitulons séparément le nombre de jours de pluie ou de neige, pendant lesquels l'électricité a été négative ou positive, nous trouvons 71 jours positifs et 69 jours négatifs; c'est-à-dire sensiblement le même nombre de jours positifs que de jours négatifs.

D'après les observations de M. Arago, pendant les sept premiers mois de 1830, il y a eu 25 jours de pluie, savoir : 11 jours sans électricité, 6 jours avec de l'électricité positive, et 8 avec de l'électricité négative. On ne peut rien conclure du nombre de jours sans électricité, parce qu'il a pu se faire que l'air étant trop humide, l'appareil n'a accusé aucune électricité. Quoi qu'il en soit, nous voyons que l'électricité est tantôt positive, tantôt négative, à peu près dans le même rapport.

Il arrive souvent que l'électricité change de signes plusieurs fois dans la même journée; c'est ainsi que M. Arago a remarqué que, dans la journée du 19 avril, qui a été pluvieuse, l'électricité a été cinq fois négative et trois fois positive; et que, dans celle du 11 mai, l'électricité négative a persisté quelque temps après la cessation complète de la pluie. Volta, qui s'est attaché à ces variations dans la nature de l'électricité, a observé jusqu'à 14 changements de signe pendant un orage.

Saussure a constaté également des changements de signe dans l'électricité de l'atmosphère, quand l'air était fortement agité par les orages ou autres causes.

734. Il a observé en outre, qu'en été, dans les jours sereins qui succèdent à des jours pluvieux, et quand la terre est encore couverte d'humidité, la période diurne

ressemble à celle de l'hiver. Ce fait semble nous indiquer la cause qui augmente l'électricité libre de l'atmosphère en hiver.

§ II. *Des causes qui font varier en général l'intensité de l'électricité atmosphérique.*

735. Jusqu'ici nous n'avons parlé que des résultats obtenus dans des observatoires, et nullement en rase campagne et dans des pays de montagnes, où des causes locales influent particulièrement sur l'excès d'électricité libre qui se trouve dans l'air.

Saussure, auquel nous devons des observations intéressantes sur l'électricité de l'air, a reconnu que cette électricité varie suivant les lieux; qu'elle est en général plus forte, comme on le conçoit, dans les lieux les plus élevés et les plus isolés; nulle dans les maisons, sous les arbres, dans les rues, dans les cours, et en général dans les localités renfermées de toutes parts; qu'elle est cependant sensible dans les villes au milieu des grandes places, au bord des quais, et principalement sur les ponts, où elle est plus forte qu'en rase campagne; que dans quelques localités, comme à Genève, par exemple, l'état de l'air non orageux où l'on observe la plus forte électricité, est celui où règnent les brouillards qui ne se résolvent pas en pluie et qui n'occupent point ordinairement une grande hauteur au-dessus de la terre; dans ce cas il est permis de supposer que les globules vésiculaires servent de conducteurs pour transmettre à la terre l'électricité de l'air serein situé au-dessus de ces brouillards.

736. Tâchons maintenant de remonter aux causes qui font varier périodiquement l'excès d'électricité libre dans les temps sereins, en nous appuyant sur les faits connus. Schubler a émis l'opinion que ces variations dépendaient probablement de la même cause qui produit celles auxquelles l'aiguille aimantée est sujette : on sait effectivement que la pointe d'une aiguille aimantée ho-

rizontale, tournée vers le nord, marche de l'est à l'ouest depuis 8 heures $\frac{1}{2}$ du matin jusqu'à 1 heure $\frac{1}{4}$ après midi; de l'ouest à l'est, depuis 1 heure $\frac{1}{4}$ après midi jusqu'au lendemain matin. Le maximum d'écartement à l'est a donc lieu à 8 heures $\frac{1}{2}$ du matin, et à l'ouest à 1 heure $\frac{1}{4}$. Nous avons bien là l'exemple de deux maxima d'écartement, mais nous ne voyons pas comment on pourrait constater l'existence de deux minima. Au surplus, les causes qui font varier l'électricité atmosphérique, quand le temps n'est pas serein, sont si fugitives qu'il est permis de croire qu'elles ne dépendent pas de causes purement terrestres. Il faut les chercher dans quelques phénomènes atmosphériques, qui résultent de la présence du soleil sur l'horizon, attendu que les variations observées précèdent et suivent assez régulièrement son lever et son coucher dans toutes les saisons.

Il résulte des observations précédemment rapportées, qu'en hiver les heures où l'électricité est la plus faible, sont celles qui sont comprises entre le temps où la rosée du soir a complétement terminé sa chute, et le moment où le soleil se lève; que son intensité augmente ensuite par degrés et arrive avant midi à un premier maximum après lequel elle diminue jusqu'à deux ou trois heures avant le coucher du soleil et quelquefois plus et se relève jusqu'à la chute de la rosée, où elle est quelquefois plus forte qu'avant; qu'elle diminue ensuite graduellement pendant une grande partie de la nuit, et ne devient jamais nulle quand le ciel est parfaitement serein. On peut se rendre compte de ces effets de la manière suivante : vers la fin de la nuit, l'électricité doit avoir une très-faible intensité, parce que l'humidité de la soirée précédente et celle de la nuit qui l'a suivie ont transmis à la terre une partie de celle qui s'était accumulée dans l'air. Quand le soleil commence à réchauffer la terre, les vapeurs s'élèvent et portent de l'électricité positive dans l'air; dès lors l'électricité aérienne doit augmenter. Quand le soleil est parvenu à un certain degré d'élévation, la chaleur augmente, l'air se dessèche et ne transmet

qu'avec peine le fluide électrique accumulé dans le haut de l'atmosphère; il en résulte que les appareils électriques, situés près de la surface de la terre, indiquent une diminution d'électricité, bien que le fluide électrique ne cesse point de s'accumuler dans les régions élevées. Le soleil s'approchant de la fin de sa carrière, l'air se refroidit, devient humide, et commence à transmettre plus abondamment à la terre le fluide électrique accumulé dans les hautes régions. L'intensité électrique doit donc augmenter avec l'humidité et la rosée, jusqu'à deux ou trois heures après le coucher du soleil. Enfin, quand l'air commence à s'épuiser, l'électricité diminue de nouveau jusqu'au lendemain. On explique, suivant le même principe, pourquoi l'électricité de l'air serein est beaucoup moins forte en été qu'en hiver; l'air, dans le premier cas, étant alors chaud et sec, résiste avec plus de force à l'écoulement du fluide électrique accumulé dans les régions supérieures de l'atmosphère; tandis qu'en hiver l'air humide doit produire un effet contraire. Nous ferons remarquer ici, en passant, que l'accumulation de l'électricité libre, en été, dans les régions élevées de l'atmosphère, est probablement une des causes de la fréquence des orages dans cette saison.

CHAPITRE III.

DES CAUSES PRÉSUMÉES DE L'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE.

§ I. *Des causes générales.*

737. Il paraît que l'évaporation continuelle de l'eau, à la surface de la terre, est une des causes productrices de cette énorme quantité d'électricité positive qui se trouve toujours à l'état libre dans l'atmosphère, quand le ciel est serein. On a avancé que les phénomènes de la végétation concouraient aussi au même but; mais nous doutons de ce fait, comme nous aurons plus loin l'occasion de le montrer.

Rappelons-nous que l'évaporation de l'eau, quand elle n'est pas accompagnée d'une action chimique quelconque, ne trouble jamais l'équilibre des deux électricités; ainsi donc les changements d'état d'un liquide, quels qu'ils soient, ne dégagent jamais d'électricité; mais si ce liquide tient en dissolution des gaz, des acides, des alcalis ou des sels, même en petites quantités, la vapeur d'eau, en s'échappant, emporte avec elle un excès d'électricité négative ou positive; négative avec un acide, positive avec un alcali ou un sel; la solution conserve l'électricité contraire. Or, les eaux qui se trouvent à la surface de la terre, dans les bassins, des mers, dans les lits des fleuves ou des rivières, ou partout ailleurs, tenant toujours en dissolution plus ou moins de substances salines, leur évaporation continuelle doit porter

constamment dans l'atmosphère de l'électricité positive. Nous ajouterons cependant que la tension de cette électricité est très-faible, puisque nous sommes obligés d'employer un condensateur, dans nos expériences, pour la rendre sensible.

Quant à l'électricité dégagée dans l'acte de la végétation, rappelons-nous encore que les gaz en se combinant, soit entre eux, soit avec des corps solides ou liquides, rendent libre de l'électricité, dont la nature dépend de celle de ces corps. Quand les gaz abandonnent des combinaisons, les effets sont inverses.

Si nous voulons appliquer ce principe à la végétation, nous dirons que, lorsque l'acide carbonique est absorbé par les feuilles et élaboré dans leur tissu pendant le jour, l'oxigène qui est expulsé emporte avec lui l'électricité négative, tandis que le carbone ou la plante conserve l'électricité positive : voilà ce qui se passe sous l'influence de la lumière solaire. La nuit, les effets doivent être inverses, puisque le gaz acide carbonique est au contraire exhalé de la plante; mais aussi les effets sont plus marqués le jour que la nuit. Comment donc supposer qu'une partie de l'électricité positive de l'atmosphère soit due à l'acte de la végétation, lorsque l'oxigène emporte avec lui, pendant le jour, où l'action est la plus vive, l'électricité négative. Nous n'en disons pas de même de l'évaporation de l'eau à la surface de la terre, nous la considérons au contraire comme une des causes de l'électricité aérienne.

738. On peut nous objecter, avec une apparence de raison, que l'intensité de l'électricité libre, les jours sereins, est plus faible en été qu'en hiver, où l'évaporation est moins forte, ce qui devrait produire un effet contraire. Le fait est vrai; mais en hiver, comme nous l'avons déja dit, les vapeurs aqueuses apportent à la terre l'électricité des régions élevées en plus grande quantité que l'air généralement moins humide de l'été. Nous répétons encore que, bien que l'évaporation soit une des causes de l'électricité atmosphérique, il nous est

impossible d'affirmer que ce soit la seule. Notre réserve, dans une question aussi importante, sera sans doute appréciée par le lecteur.

739. Jusqu'ici il n'a été question que de l'électricité positive, parce que c'est celle qui se trouve toujours dans l'atmosphère dans les temps sereins; mais, dans toute autre circonstance, l'électricité est tantôt positive, tantôt négative, et même quelquefois nulle. Les résultats de Schubler nous apprennent, en outre, qu'il y a dans l'année autant de jours pluvieux qui donnent de l'électricité positive, que de jours pluvieux qui fournissent de l'électricité négative. Cherchons donc d'où peut provenir cette dernière, sans laquelle il n'y aurait ni éclairs, ni coups de tonnerre.

740. L'état électrique habituel de l'atmosphère nous indique que la terre doit posséder toujours un excès d'électricité négative; car, quand bien même cette électricité ne serait pas celle que les substances salines retiennent pendant l'évaporation, l'action par influence de l'électricité positive de l'air rendrait la terre négative; ainsi donc tout concourt à faire admettre que la terre a toujours, dans les temps sereins, un excès d'électricité négative. Il ne suffit pas que la théorie l'admette, il faut encore le prouver à l'aide de nos instruments; c'est ce qu'on a négligé en général de faire jusqu'ici, et cependant il peut résulter de l'action de cette électricité terrestre sur l'électricité aérienne, des effets complexes qui ont dû induire quelquefois en erreur les physiciens.

741. Réad (1), en 1790, avait déjà remarqué que lorsque la tige métallique extérieure de son appareil atmosphérique était fortement électrisée, la partie inférieure de l'électromètre, quoique non isolée, puisqu'elle communiquait avec la terre, possédait toujours une électricité contraire à celle de la tige; ce fait, qui a été observé souvent par ce physicien, est trop im-

(1) Transac. philos.

portant pour que nous ne rapportions pas avec quelques détails une des expériences où il l'a mis en évidence.

Le 20 mai 1790, l'air était humide, et électrisé négativement; à 10 heures, l'électricité devint assez intense pour donner des étincelles. En une demi-heure il y eut quatre changements dans le signe de l'électricité; la tige extérieure resta négative pendant deux heures. Trois heures après midi, l'électricité changea et resta trois heures positive : alors un nuage noir et bas laissa tomber quelques gouttes de pluie mêlées de grêle; la tige fut alors fortement chargée d'électricité positive. La cloche dont nous avons parlé (721), qui communiquait avec la terre, sonnait vivement et possédait un excès d'électricité négative, opposée par conséquent à celle de la partie isolée de l'appareil. En même temps l'air de la chambre, les ferrures de la fenêtre, les briques de la muraille étaient électrisés négativement. On ne peut douter un seul instant que cette électricité ne fût celle que possédait la terre.

742. M. Peltier, dans ces derniers temps, a constaté également, à plusieurs reprises, l'électricité terrestre qui, en raison de la nature de celle qui se trouve dans l'air, pendant les temps sereins, est toujours négative. Pour connaître l'état électrique du sol et ne pas y mêler des éléments étrangers à l'effet local, ce physicien place l'un des bouts du fil conducteur en platine de son multiplicateur dans le lieu humide qu'il veut interroger, et l'autre dans une portion sèche du terrain ou du bâtiment construit en ce lieu. La conductibilité du fil métallique l'emportant de beaucoup sur celle du sol ou du bâtiment, l'équilibre électrique s'établit par son intermédiaire, d'où résulte une action sur l'aiguille aimantée. C'est par ce moyen qu'il s'est assuré que le sol est constamment négatif, à des tensions très-différentes, suivant l'état hygrométrique et la température de l'air. Quand l'un des bouts du multiplicateur est libre dans l'air, l'appareil n'accuse pas toujours le courant négatif ascendant; parce que sa

mauvaise conductibilité s'oppose à ce qu'il enlève assez rapidement l'électricité à cette extrémité, pour produire un courant continu. L'aiguille n'est déviée que dans les grandes tensions, ou lorsque l'air est suffisamment humide. Nous citerons deux exemples à l'appui de ce que nous venons d'avancer. La journée du 4 septembre dernier avait été belle et chaude; l'appareil accusait constamment un faible courant négatif ascendant. Vers 5 heures du soir, le ciel devint légèrement nébuleux, sans aucun nuage à l'horizon, et il n'y avait aucune apparence d'orage. De grosses gouttes de pluie tombèrent alors en petite quantité; il y eut aussitôt un renversement violent dans la direction du courant, dont l'intensité fut telle que le magnétisme des aiguilles en fut altéré. On obtint en même temps un jet continu d'étincelles pendant vingt minutes. La pluie étant devenue plus abondante, les étincelles cessèrent, l'aiguille du multiplicateur revint à zéro, puis le courant négatif ascendant reprit la supériorité. Cette observation, qui est importante, montre que l'on ne peut pas toujours démontrer l'état négatif de l'atmosphère, même lorsqu'il est énergique, quand la terre et les zones inférieures de l'air possèdent un excès d'électricité négative égal en tension à celui des couches supérieures, attendu que les appareils accusant deux effets contraires doivent se taire. Mais aussitôt que des appareils reçoivent de l'atmosphère une plus forte dose d'électricité positive, comme dans le cas où il est tombé des gouttes de pluie, il n'en est plus de même; ils accusent alors un excès d'électricité positive.

Le 11 novembre de la même année, le thermomètre à 25 mètres au-dessus du sol indiquait —1°; les électromètres n'avaient rien indiqué de particulier. Vers les 11 heures du matin, il tomba du grésil; aussitôt un fort courant négatif ascendant eut lieu, et l'aiguille fut déviée de 70° pendant tout le temps, et revint ensuite à zéro; pendant le passage des nuages orageux, les indications électriques changeaient à chaque instant.

En général, quand un nuage est très-rapproché de

l'extrémité de l'appareil, le courant positif supérieur l'emporte; à mesure qu'il s'éloigne, son influence diminue, et il arrive un certain temps où le courant négatif terrestre devient supérieur.

Combien de difficultés ne doit-on pas éprouver quand on cherche à apprécier l'état électrique réel de l'air ambiant, avec des instruments qui ne marquent que des différences entre l'état électrique de la terre et celui de l'air! Quand on sait, en outre, qu'il y a des nuages qui sont électrisés, tantôt positivement, tantôt négativement, la question de l'électricité atmosphérique devient alors des plus complexes, et l'on ne peut espérer d'en avoir une solution complète qu'en multipliant les expériences et coordonnant les résultats, comme nous l'avons indiqué.

743. L'électroscope et le multiplicateur, employés aux recherches de l'électricité atmosphérique, ne peuvent donner des indications absolues comme le thermomètre et le baromètre : les feuilles d'or ou les pailles du premier ne divergent que sous l'influence d'un état électrique différent de celui du milieu ambiant, et l'aiguille du second n'est déviée qu'en raison de la supériorité d'un courant sur un autre. Pour connaître avec certitude l'état électrique d'une grande portion de l'atmosphère, il faudrait que nos instruments n'y fussent pas plongés, ou qu'on pût placer un de leurs conducteurs au delà des limites que l'on veut mesurer; ce qui n'est pas toujours possible.

Le sol étant plus ou moins humide conduit inégalement, quoique suffisamment, l'électricité qui est dégagée à sa surface par l'évaporation; il n'en est pas de même de l'air qui, étant mauvais conducteur, s'en charge diversement, selon son humidité et les causes qui l'agitent. Ce n'est pas tout : les nuages chargés de l'une ou l'autre électricité agissent par influence sur la portion d'air où se trouve l'extrémité de l'instrument, et altèrent pendant leur passage celle qui y est accumulée, soit en augmentant, soit en diminuant sa tension. Que

de difficultés ne doit-on pas éprouver à interpréter les résultats obtenus toutes les fois que l'air n'est pas serein, ou qu'il est agité par des causes quelconques! Nous allons voir, dans le paragraphe suivant, l'influence qu'exerce l'électricité terrestre sur l'électricité des nuages orageux.

§ II. *De la distribution de l'électricité dans l'atmosphère et dans la terre.*

745. Il est bien prouvé maintenant que l'atmosphère et la terre sont constamment dans deux états électriques différents; les deux électricités doivent donc se recombiner continuellement dans les couches inférieures de l'atmosphère jusqu'à une certaine hauteur; en rase campagne, l'expérience prouve que l'on ne commence à trouver de l'électricité positive libre qu'à trois ou quatre pieds environ au-dessus du sol; la recomposition s'effectue donc jusqu'à cette hauteur, quand aucune cause étrangère ne vient la troubler. Au delà, l'électricité doit se répandre dans l'air suivant une loi que nous ne connaissons pas, qui dépend de la mauvaise conductibilité de ses parties constituantes, et doit varier à chaque instant, en raison des vapeurs qui s'élèvent du sol ou qui s'abaissent sur la terre.

746. Désirant connaître si, par un temps parfaitement serein, loin des habitations, des arbres et de toute végétation, l'électricité atmosphérique augmente d'intensité à mesure que l'on s'élève dans l'atmosphère, nous nous sommes transportés, M. Breschet et moi, au grand Saint-Bernard; là, sur un des plateaux qui avoisinent l'hospice, nous avons tendu un morceau de taffetas gommé, de 3 mètres de long sur 2 de large, sur lequel on a déroulé un fil de soie recouvert de clinquant, de 80 mètres de longueur. L'un des bouts de ce fil a été mis en communication avec la tige d'un électromètre à pailles, au moyen d'un nœud coulant serrant légèrement la tige; l'autre bout a été attaché au fer de lance d'une flèche, puis l'on a lancé celle-ci avec un arc fortement tendu.

La flèche, en s'élevant, a emporté le fil qui, étant faiblement attaché à la tige, s'en est séparé aussitôt qu'il a été déroulé. Les pailles se sont écartées peu à peu à mesure que la flèche s'élevait, et l'écartement a été bientôt tel, que les pailles sont venues frapper fortement les parois de la cloche. Le fil étant séparé de la tige, l'appareil a conservé l'électricité qui lui avait été communiquée, laquelle était positive: la fig. 13 *bis* indique le dispositif de l'expérience. Nous ne doutons pas que, par ce moyen on ne parvienne à charger un condensateur au point de donner des étincelles. En faisant passer l'électricité recueillie par le fil dans un solénoïde, où se trouvaient des aiguilles d'acier faiblement trempées, nous sommes parvenus à les aimanter et à changer la polarité en les retournant dans le solénoïde. Ces résultats prouvent, 1° que l'électricité positive, qui se trouve constamment dans l'atmosphère pendant les temps sereins, augmente en intensité sur les hautes montagnes, depuis le sol jusqu'à une hauteur d'environ 250 pieds; 2° que le fil de soie entrelacé de clinquant a toujours donné la même espèce d'électricité, sans aucune apparence de changement de signe.

On pourrait croire que l'électricité transmise à l'électromètre par la flèche provenait de son frottement contre l'air; mais l'expérience n'ayant donné aucun résultat quand elle était tirée horizontalement à trois pieds au-dessus du sol, on peut en conclure que celle qu'elle transmettait en premier lieu venait bien de l'atmosphère.

747. L'expérience suivante vient encore confirmer l'augmentation de l'intensité de l'électricité à mesure que l'on s'élève. Je montai, par un temps très-serein, au haut de la roche Sanadoire, près du Mont-d'Or, laquelle est élevée de 1290 mètres au-dessus du niveau de la mer. Cette roche, qui est isolée des montagnes environnantes, est terminée par une plate-forme de quelques mètres carrés, qui est convenablement disposée pour faire des observations sur l'électricité de l'atmosphère. L'électromètre de Saussure, surmonté d'une

tige de laiton de 5 décimètres, donnait un écartement de trois millimètres quand on élevait l'appareil à un mètre au-dessus de la tête; il était du double quand on faisait communiquer la tige à un fil de métal de quatre mètres, que l'on lançait perpendiculairement avec une pierre; ainsi de suite. J'ai été à même d'observer, dans cette localité, combien était grande l'influence des corps environnants, pour empêcher la manifestation des effets électriques : quand la tige était placée à la hauteur de la tête, il n'y avait aucun écartement sensible; en descendant le rocher et élevant l'appareil, l'écartement diminuait continuellement, de sorte qu'avant d'arriver au pied, tous les signes d'électricité avaient disparu. Il est donc hors de doute que, puisque dans les temps calmes et sereins il existe toujours un excès d'électricité positive dans l'air, et que cet excès diminue à mesure que l'on approche des corps qui se trouvent à la surface de la terre, on doit en conclure qu'il existe continuellement un écoulement d'électricité par les cimes des montagnes, les pointes des rochers, les branches et les feuilles des arbres, les corps des animaux, etc. Les effets qui peuvent résulter de cet écoulement d'électricité n'ont pas encore fixé l'attention des philosophes, et cependant ces effets intéressent vivement la physiologie et la géologie.

748. MM. Gay-Lussac et Biot, dans leur voyage aérostatique, ont cherché aussi à se rendre compte de la distribution de l'électricité dans les régions élevées de l'atmosphère, au moyen d'un fil de métal, de 50 mètres de long, terminé par une boule de métal et attaché par l'un de ses bouts à la nacelle; ils ont constaté que, bien que le temps fût très-serein, l'électricité était négative. Ce résultat était en opposition avec le fait qui était déjà bien établi à cette époque, que l'atmosphère possède toujours un excès d'électricité positive lorsque le ciel est sans nuages. M. Biot, considérant cette anomalie comme apparente, s'est arrêté à l'explication suivante pour concilier les faits observés : supposons que l'on place un plan horizontal à chacune des extrémités

du fil; l'atmosphère se trouvera ainsi partagée en trois portions. Admettons maintenant, comme l'expérience du reste le prouve, que l'intensité de l'électricité positive croisse à mesure que l'on s'éloigne de la surface de la terre, et examinons l'action de chacune des deux couches extrêmes, relativement à l'influence de leur électricité libre sur l'électricité naturelle du fil. La portion supérieure qui est électrisée positivement et plus que les autres portions, attire l'électricité négative du fil avec une force représentée par $+n$, et repousse la positive avec une force représentée par $+p$. La couche inférieure agira de la même manière, mais en sens inverse; et l'énergie de son action sera moindre, puisque l'intensité électrique croît avec la hauteur.

Si l'on représente par $p\ n$ les forces mises en jeu, l'électricité négative du fil sera attirée vers la partie supérieure avec un excès de force égal à $N-n$; par la même raison, l'électricité sera repoussée vers l'extrémité inférieure avec un excès de force égal à $P-p$. D'après cette manière de voir, la partie supérieure de la tige doit donner de l'électricité négative.

749. Le principe sur lequel M. Biot s'est appuyé pour rendre compte d'un effet qu'il regarde comme une anomalie, suppose nécessairement que l'air dans lequel il opérait était parfaitement sec, et que son électricité ne pouvait agir, en raison de cela, que par influence sur l'électricité naturelle de la tige. Car si l'air eût été humide, il y aurait eu un écoulement continuel d'électricité positive le long de cette tige. Quoi qu'il en soit, il a expliqué de la même manière un fait analogue qui a été observé par M. Erman : ce physicien avait placé à une certaine hauteur dans l'atmosphère un électroscope à feuilles d'or, sans avoir pu recueillir de l'électricité; il porta dans une couche d'air supérieure un fil de métal placé horizontalement à l'extrémité d'une tige isolante, et l'abaissa ensuite rapidement jusqu'à ce qu'il toucha l'électroscope. L'appareil accusa aussitôt la présence de l'électricité positive dans la région où se trou-

vait le conducteur. L'effet était inverse quand ce dernier se trouvait dans une couche inférieure et qu'on le relevait avec rapidité. Cette observation tend à confirmer la manière de voir de M. Biot, puisqu'elle constate la présence de l'électricité négative et celle de l'électricité positive au-dessus et au-dessous de la tige.

§ III. *L'électricité atmosphérique exerce-t-elle une influence chimique sur la surface du globe?*

750. Une question se présente naturellement à l'esprit; comme nous l'avons déjà dit (747), l'atmosphère et la terre se trouvant toujours dans deux états électriques différents, il doit y avoir une recomposition continuelle des deux électricités par l'intermédiaire des cimes des montagnes, des pointes des rochers, des branches et des feuilles des arbres, et des diverses parties des animaux: le passage des deux électricités dans tous ces corps produit-il des réactions chimiques qui puissent influer d'une manière quelconque sur leur constitution? Les faits répondent affirmativement à cette question. Rappelons-nous les observations que nous devons à Wollaston et à M. Faraday, sur les décompositions chimiques opérées dans les dissolutions au moyen de l'électricité de nos machines, qui les traverse pour se rendre dans le sol. Une de leurs observations (464) trouve ici une application immédiate; c'est celle qui montre que l'on peut se dispenser de lames ou de fils de métal, pour transmettre l'électricité libre dans les dissolutions que l'on veut décomposer; il suffit de prendre pour pôles des bandes de papier humide ou des corps médiocres conducteurs analogues aux corps inorganiques ou non qui se trouvent à la surface du sol; on a alors des décompositions semblables à celles que l'on obtient avec les fils métalliques. Or, le courant électrique qui provient des machines est analogue à celui qui résulte de la neutralisation continuelle de l'électricité de l'air avec celle de nature contraire qui appartient à la terre. Nous devons en conclure que, dans

les deux cas, il doit se produire des effets électro-chimiques semblables. Nous considérons donc comme chose à peu près démontrée que l'électricité atmosphérique exerce une influence électro-chimique sur les corps qui sont sur la surface de la terre. Nous donnerons quelques développements sur cette influence, quand nous traiterons de l'action de l'électricité sur les corps organisés.



CHAPITRE IV.

DE LA FORMATION DES NUAGES ORAGEUX OU NON ORAGEUX.

§ Ier. *De la formation des nuages électrisés positivement.*

751. Nous avons vu que les nuages orageux ou non orageux qui déversent de la pluie, de la neige ou de la grêle sur la terre, possèdent tantôt un excès d'électricité positive, tantôt un excès d'électricité négative. D'où peut donc provenir cette différence dans l'état électrique des nuages, lorsque nous savons que l'atmosphère est un vaste réceptacle d'électricité positive, quand aucune cause perturbatrice ne vient l'agiter? Jusqu'ici on a éprouvé de grandes difficultés à répondre catégoriquement à cette question. Pour bien se rendre compte des effets produits, il faut commencer par exposer la théorie de la formation des nuages.

752. Hutton a émis l'opinion que les nuages provenaient, en général, du mélange de deux courants d'air chargés d'humidité, ayant des températures différentes. Cette manière de voir est adoptée par la majorité des physiciens, et entre autres par M. Gay-Lussac, qui en a fait la base d'une théorie de la formation des nuages orageux, dont nous allons (1) essayer de faire connaître

(1) Annales de Ch. et de Phys., t. VIII, p. 158.

les principaux points. Il est démontré en outre, par les faits précédents, que l'électricité positive s'élève dans l'atmosphère avec les vapeurs aqueuses fournies par le sol, et que son intensité croît avec la hauteur jusqu'à la plus grande élévation où l'homme soit parvenu. Que devient ensuite cette électricité? Elle doit tendre à se répandre d'autant plus dans l'espace, que la pression de l'air qui s'oppose à sa diffusion est moins grande. Il y a de grandes probabilités à supposer qu'une portion de cette électricité doit se porter dans les régions supérieures de notre atmosphère, où elle forme ces lumières météoriques dont nous parlerons en traitant des aurores boréales.

Quoique nous ignorions de quelle manière le fluide électrique est répandu dans l'atmosphère, tout porte à croire néanmoins qu'il y est disséminé à l'état libre, prêt à se porter, à se rassembler sur les conducteurs qu'on lui présente; de sorte qu'il se trouve en même quantité dans un nuage nouvellement formé, que dans la masse d'air qui a fourni à ce nuage tous les globules vésiculaires.

Il est facile de concevoir comment cette électricité, qui est faible en apparence, peut s'accumuler au point de produire le tonnerre. Les nuages orageux sont ordinairement denses, isolés et d'une grande étendue; c'est un fait que tout le monde peut constater. Ils se forment ordinairement dans les saisons chaudes par un temps humide; l'air, parvenu au terme d'humidité extrême, comme l'observe M. Gay-Lussac, abandonne, par un abaissement de température de quelques degrés, une quantité d'eau beaucoup plus grande que par un abaissement égal à une température moindre : c'est pour ce motif que la formation des nuages orageux est plus fréquente en été qu'en hiver. Cet abaissement de température peut avoir lieu, comme Hutton l'a avancé, par le mélange de deux airs inégalement échauffés, ou dans une même masse d'air sans aucun mélange par une cause quelconque.

Quiconque a observé un orage a pu constater que, dans nos climats; il est toujours accompagné de l'existence de deux courants d'air opposés. Les effets de semblables courants sont encore rendus sensibles par la formation de la neige, qui est ordinairement le mélange d'un vent du nord ou du nord-est avec un vent du sud ou du sud-ouest, et qui est assez fréquemment accompagnée d'un ou de deux coups de tonnerre.

753. Sous les tropiques, les orages sont dus à une cause semblable: M. de Humboldt a observé qu'entre les 4° et 10° de latitude nord ils sont plus fréquents, et les pluies plus abondantes au commencement et à la fin des pluies que dans toute autre saison. A la première de ces deux époques, les brises du N. E. succèdent aux vents du S. E.; et à la seconde, c'est le contraire. Plusieurs observations semblables ont été faites dans l'intérieur de l'Afrique.

Bien que le concours de deux vents opposés d'inégale température et chargés d'humidité soit une des causes de la formation des nuages orageux, cependant on peut aussi la concevoir dans le même air, sans qu'il existe des courants opposés. Supposons un temps chaud et calme, et que la terre humide soit échauffée par les rayons solaires, il en résultera un courant ascendant rapide d'air et de vapeurs qui s'élèvera dans les parties élevées de l'atmosphère. Au milieu de la journée, l'air se trouvera à peu près saturé de vapeurs; s'il survient un refroidissement subit dans la masse, il se produira aussitôt un nuage dense et volumineux qui sera fortement électrisé.

Voici comment on peut concevoir cette électrisation: Prenons le nuage à l'instant où il se forme dans un air tranquille, possédant une certaine quantité d'électricité. Celle-ci se réunira en couches très-minces à la surface de chaque globule vésiculaire que l'on peut considérer comme bons conducteurs. Dans le cas où l'électricité est faible et que les globules sont peu rapprochés, elle n'éprouve aucun changement. Le nuage n'est pas alors

orageux, quoique la tension de l'électricité soit augmentée, puisqu'elle s'est concentrée autour de chaque vésicule; seulement il paraîtra plus fortement électrisé que l'air environnant.

Si le nuage est très-dense, les vésicules qui le composent seront plus rapprochées, et on pourra alors le considérer comme un conducteur continu. Toute l'électricité qui se trouvait dans l'intérieur se portera donc à sa surface, où elle sera tenue en équilibre par la pression de l'air ambiant.

Le nuage ayant une certaine étendue, il est facile de concevoir comment une très-faible quantité d'électricité, d'abord disséminée dans un grand espace, acquiert une tension énorme quand elle se porte à la surface du nuage.

754. Jusqu'ici il n'a nullement été question de la nature de l'électricité qui se porte à la surface des nuages quand ils sont très-denses; nous sommes portés naturellement à admettre qu'elle est ordinairement positive, puisque l'atmosphère, dans les temps sereins, possède toujours de l'électricité positive. Voilà bien l'explication des nuages possédant de l'électricité positive; mais comment concevoir l'existence de nuages électrisés négativement, lorsque nous savons que l'évaporation donne toujours de l'électricité positive? Les faits vont répondre à cette question.

755. Volta rapporte dans ses œuvres (1) une expérience intéressante de Tralles, dont lui-même a constaté l'exactitude, et qui doit être prise ici en considération. Se trouvant un jour dans les Alpes, vis-à-vis de la cas cade de Standbach, près de Lauterbrunnen, Tralles présenta son électromètre atmosphérique, non armé de la verge métallique, à la pluie très-fine qui résultait de l'éparpillement de l'eau. Il obtint aussitôt des signes très-distincts d'électricité négative; il en fut encore de même à la cascade de Reichenbach.

(1) Tome II, p. 239.

Volta répéta cette expérience avec succès, non-seulement au-dessus de grandes cascades, mais encore au-dessus de ruisseaux qui se brisaient en tombant sur des rochers. Il obtint également des signes d'électricité négative en se plaçant, avec son électromètre, sur les bords d'un torrent parcourant un ravin, là où il était le plus impétueux. Il en fut encore de même toutes les fois que la masse d'eau qui se précipitait était peu considérable et ne présentait qu'un filet gros comme le doigt. Il ne cessa de trouver des signes d'électricité que lorsque les chutes d'eau étaient au-dessous de ses pieds, dans les fonds où les eaux écumantes des torrents étaient resserrées.

756. Saussure, avant Tralles et Volta, était parvenu à un résultat à peu près semblable. Cet habile et ingénieux physicien se trouvait, le 29 juin 1766, sur le sommet du Môle, à 10 heures du matin; le vent venait du sud; le temps était serein, à l'exception de quelques légers nuages répandus çà et là. Il avait remarqué que le soleil, dont les rayons frappaient la montagne, faisait sortir de son pied et des prairies adjacentes de petits nuages blancs qui s'élevaient et se dissipaient bientôt après, ou allaient rejoindre d'autres nuages qui flottaient au-dessus de sa tête. Quand aucun nuage ne passait auprès du conducteur de son électromètre, il n'observait aucun signe d'électricité. Il en était encore de même lorsqu'un de ces nuages était assez grand pour envelopper tout le conducteur depuis sa pointe jusqu'à la terre; mais aussitôt qu'il venait raser la pointe du conducteur, ou même passer un peu au-dessous sans toucher en même temps à la terre, il obtenait des signes d'électricité, faibles à la vérité, mais non équivoques. Les nuages ne donnaient aucune électricité au conducteur quand ils communiquaient avec la terre; leur décharge s'opérait immédiatement par l'intermédiaire de celle-ci. Ces faits nous indiquent que des nuages qui s'élèvent de la terre sont quelquefois électrisés, et comme la formation des vapeurs ne donne lieu qu'à un dégagement d'électricité

sensible au condensateur seulement, il est permis de croire que celles qu'ils possédaient provenaient d'une cause semblable à celle qui fournit l'électricité négative aux globules vésiculaires près des chutes d'eau.

757. Qui ne voit, dans ces effets, la preuve que l'eau, en tombant avec une grande vitesse sur des rochers, s'éparpille en globules vésiculaires qui emportent avec eux, dans l'atmosphère, l'électricité négative qu'ils ont enlevée à ces rochers, et par suite à la terre? Cette électricité ne peut être attribuée à l'évaporation, puisqu'elle est de nature contraire à celle que cette action produit. Les globules remplissent donc seulement les fonctions de conducteur. Ne peut-on pas en tirer la conséquence que les vapeurs qui se forment à la surface du globe emportent en général avec elles, outre l'électricité positive qui leur est propre, une portion plus ou moins considérable de l'électricité négative que possède habituellement la terre? Dès lors, selon la tension de cette électricité, les vapeurs qui s'élèvent dans l'air sont électrisées positivement, négativement, ou se trouvent à l'état neutre, et les nuages, à la formation desquels elles concourent, participent aux mêmes états électriques. Mais dans quelles circonstances les vapeurs sont-elles négatives? C'est ce que nous ne saurions dire, attendu que la tension de l'électricité de la terre doit varier en raison de la nature de la portion de la surface où s'opère l'évaporation. Si le liquide qui fournit les vapeurs repose sur des corps très-conducteurs, l'électricité négative se répand au loin, tandis que s'ils sont mauvais conducteurs, elle reste sur place, et c'est dans ce cas où elle peut être enlevée par les vapeurs, et concourir à la formation des nuages négatifs.

Nous montrons bien la possibilité de l'existence de nuages électrisés négativement, mais nous n'expliquons pas cependant comment il se fait que lorsqu'un orage se forme dans une région de l'atmosphère qui se trouvait quelques instants avant dans un calme parfait, il apparaît presque subitement des nuages chargés, les uns

d'électricité positive, les autres d'électricité négative. La formation des nuages positifs, nous l'avons expliquée, ainsi que celle des nuages négatifs dans quelques circonstances : quant à la formation subite des nuages négatifs, nous allons essayer de le faire, en nous appuyant sur les données que nous fournit la science. On peut admettre qu'un nuage dense et fortement positif exerce une action à distance sur un nuage faiblement électrisé ou nullement électrisé en communication avec la terre, soit par l'intermédiaire des rochers, des arbres ou de vapeurs humides; dans ce cas, l'électricité positive de ce second nuage est chassée dans la terre, tandis que l'électricité négative est transportée sur la surface qui est la plus voisine du nuage dense. Si alors une cause quelconque vient à rompre la communication avec la terre, on a un nuage électrisé négativement.

758. Jusqu'ici il n'a pas été question des effets électriques qui sont produits lorsque deux courants d'air n'ayant pas la même température se pénètrent en partie. Tout porte à croire que l'équilibre de leur électricité est troublé de telle manière que la portion d'air qui s'échauffe prend l'électricité positive, et celle qui se refroidit l'électricité contraire ; dès lors, si les deux courants d'air chargés d'électricité ne possèdent pas la même quantité d'électricité enlevée à l'air, il pourra se faire que le nuage, qui est formé aux dépens de la vapeur d'eau précipitée, possède l'une des deux électricités, ou bien se trouve à l'état neutre. Il est probable que des effets de ce genre ont fréquemment lieu dans l'atmosphère, et concourent à la formation des nuages orageux. Nous en appelons à l'expérience pour confirmer la réalité de cette conjecture.

759. Les nuages, qui sont presque toujours plus ou moins électrisés, doivent éprouver divers genres d'action de la part des montagnes qui sont elles-mêmes électrisées différemment; voici ce que nous savons à cet égard. On a remarqué que, la plupart du temps, les nuages se rassemblent autour des pics qui semblent exercer sur eux

une attraction que l'on ne doit pas considérer toujours comme le résultat d'une action électrique. Le Puy-de-Dôme en offre un exemple remarquable : on observe fréquemment autour de son sommet un nuage en forme de chapeau, qui reste en place jusqu'à ce que le vent le chasse ou qu'il descende dans les régions inférieures.

En général, ces nuages qui entourent la cime des montagnes ont un mouvement de translation de haut en bas et de bas en haut, dû aux courants d'air qui viennent des vallées. La vapeur, en s'élevant, rencontre une région plus froide où elle se condense; en retombant, elle se change en vapeur. Mais ces effets sont différents de ceux que nous signalons. Les nuages qui s'attachent ainsi à la cime des montagnes sont appelés *parasites*. Les gens du pays les regardent comme des signes précurseurs de la pluie.

M. de Saussure en a vu souvent se former à la cime du Mont-Blanc; suivant lui et d'autres observateurs, ces nuages sont réellement immobiles dans leurs masses; car en les examinant de près, on y remarque un mouvement intérieur très-prononcé, dû probablement à un vent chaud, presque saturé d'humidité, qui, rencontrant la cime glacée, se refroidit assez pour laisser précipiter les molécules d'eau sous la forme de globules vésiculaires.

760. Les dimensions de ces nuages s'accroissent, et le vent détache alors souvent du nuage principal des lambeaux qui, entraînés au loin, finissent par se dissoudre, jusqu'à ce qu'une grande masse d'air étant saturée, le nuage se résout en pluie. Ces observations nous indiquent bien que les nuages parasites éprouvent dans leur masse un mouvement intérieur, mais elles ne peuvent servir à expliquer pourquoi ils continuent à s'attacher à la cime des montagnes, lors même qu'ils ne prennent plus d'accroissement par la précipitation des vapeurs aqueuses. L'état électrique de cette cime et celui des nuages peuvent seuls rendre raison de cet effet, comme le prouve du reste l'observation suivante :

M. Boussaingault a eu l'occasion, dans les Andes, d'observer les nuages parasites, qui sont immenses en largeur et viennent s'attacher à la partie moyenne des cônes de trachyte; ils y adhèrent, et le vent ne peut les en détacher. La foudre sillonne cette masse de vapeurs, et de la grêle, mêlée de pluie, ne tarde pas à inonder la base de la montagne. Rien ne s'oppose alors à ce que la grande quantité d'électricité que possèdent quelquefois les nuages qui ceignent la cime de ces montagnes, exerce sur ces dernières une puissance attractive, d'autant plus considérable qu'elles sont dans un état électrique contraire.

761. Nous ne terminerons pas ce paragraphe sans rapporter les observations de M. Boussaingault sur la saison des orages, sous l'équateur, lesquelles sont conformes à celles qui avaient été faites antérieurement par M. de Humboldt et d'autres observateurs.

« *La saison des orages, pour un lieu situé entre* « *les tropiques, commence précisément à l'époque* « *où le soleil s'approche du zénith.* Toutes les fois « que la latitude d'un point de la zone équinoxiale est « de même dénomination et égale à la déclinaison du « soleil, il doit se former un orage sur ce point. Dans « de semblables circonstances, le ciel, dans la mati- « née, est souvent d'une pureté remarquable, l'air est « calme, la chaleur du soleil insupportable; vers midi, « des nuages commencent à s'élever sur l'horizon, l'hy- « gromètre ne marche pas au sec, il reste fixe, ou « s'avance même quelquefois vers l'humide. C'est tou- « jours après la culmination du soleil que le tonnerre « se fait entendre; il est ordinairement précédé d'un « vent léger, et bientôt la pluie tombe par torrents. Or, « il y a toujours à chaque instant sur la surface de la « zone torride, quelle que soit d'ailleurs la position que « le soleil occupe dans l'écliptique, un point qui est « placé dans les conditions sous lesquelles les orages se « produisent infailliblement. Nous devons donc nous figu- « rer l'atmosphère de l'équateur comme sillonnée conti-

« nuellement par le feu électrique. Au reste, on peut « s'assurer, en recueillant dans un grand nombre de lo- « calités différentes la date des saisons orageuses, que « les choses doivent se passer ainsi. Lorsque, sur les « plateaux élevés des Cordilières, le ciel est découvert « pendant la nuit, on aperçoit toujours dans le lointain « et à l'ouest des éclairs qui se succèdent sans interrup- « tion : ce sont des orages qui éclatent sur les points « qui ont une longitude plus occidentale. (1) »

Quoique nous ne puissions expliquer tous ces effets, on voit clairement cependant que la saison des orages a lieu quand l'évaporation est la plus forte, ce qui est conforme au principe déjà énoncé.

(1) Annales de Ch. et de Phys., t. LVII, p. 180.

CHAPITRE V.

DES ORAGES ET DES MOYENS DE SE GARANTIR DE LEURS EFFETS.

§ Ier. *Phénomènes généraux.*

762. On a vu dans le chapitre précédent, que les nuages orageux se forment, après de fortes chaleurs, dans un air humide et chaud traversé par un courant d'air froid également saturé de vapeurs; l'orage se forme donc à la suite d'une grande évaporation. Lorsque les nuages électriques sont formés de longues étincelles commencent à éclater, même à de très-grandes distances, entre deux nuages chargés d'électricité contraire. L'existence de ces deux nuages est tellement indispensable que Saussure n'a jamais vu d'éclairs quand il n'existait qu'un seul nuage orageux dans la partie de l'atmosphère accessible à sa vue.

Il résulte de là que deux nuages orageux se repoussent ou s'attirent, suivant qu'ils possèdent la même électricité ou des électricités contraires. Si l'on joint à ces répulsions et à ces attractions l'action des vents contraires, qui tendent à leur imprimer des mouvements de rotation et de translation en différents sens, on concevra facilement pourquoi les nuages affectent des formes souvent si bizarres, et sont animés de mouvements désordonnés à l'instant où l'éclair brille. Tels sont les signes avant-coureurs de l'orage, quand il est encore éloigné; mais aussitôt que les nuées sont à une distance convenable de la terre, le bruit des décharges électriques se

fait entendre, la foudre gronde, et ses retentissements se prolongent au loin.

L'éclair qui sillonne l'espace compris entre deux nues n'a qu'une durée instantanée, puisque la vitesse de l'électricité est excessive. Le son parcourant 340 mètres par seconde, il doit donc s'écouler entre son apparition et la détonation autant de secondes qu'il y a de fois 340 mètres entre le lieu où l'on est et celui où éclate la foudre. Quand l'éclair brille sans être suivi d'un coup de tonnerre, c'est une preuve que le lieu où s'opère la décharge est situé à une distance telle de l'observateur, que le son ne peut parvenir jusqu'à lui. L'éclair suit toujours une ligne courbe ou brisée, comme l'étincelle électrique, sur le tableau magique de Franklin, en offre un exemple quand il est fortement chargé. Cet effet doit être attribué à la propriété dont jouit le fluide électrique, de suivre toujours la ligne la plus courte et qui offre le moins de résistance. Dans les fortes décharges, l'air étant plus ou moins comprimé, l'électricité cherche la partie où l'air est le moins condensé; elle se dévie alors de sa direction en ligne droite, pour suivre une ligne brisée ou courbe dont la direction doit varier à l'infini.

763. Bien que dans les nuages denses la plupart du temps l'électricité se porte à leur surface, on ne doit pas les considérer néanmoins comme des conducteurs parfaits, en raison des intervalles qui séparent toujours les globules vésiculaires, même quand ils sont très-rapprochés : il résulte de là que souvent le même nuage, à différents intervalles, donne naissance à plusieurs étincelles successives. On a remarqué que l'éclair parcourt souvent des distances de plusieurs lieues, ce qui prouve que deux nuages différemment électrisés peuvent exercer une action par influence à de grandes distances. Mais là, il pourrait très-bien se faire aussi qu'il se trouvât entre les deux nuages des corpuscules conducteurs ou des globules vésiculaires isolés qui servissent d'intermédiaires pour opérer la décharge.

764. Le bruit du tonnerre et le roulement qui l'accompagne sont la conséquence de cette décharge, qui est analogue à celle de la bouteille de Leyde; si les effets ne sont pas identiquement les mêmes, il faut en chercher la cause dans l'intensité des actions. Ce roulement, ce retentissement du tonnerre au loin provient uniquement de ce que l'air a été ébranlé plus ou moins fortement par le passage de l'électricité; les masses d'air situées sur son passage étant successivement comprimées, il en résulte un déplacement dans celles qui sont contiguës, et conséquemment une suite de contractions et de dilatations qui, s'étendant au loin, produisent des retentissements long-temps prolongés.

765. Le thermomètre de Kinnersley, que nous avons fait connaître, ainsi que d'autres effets que nous ne rappelons pas ici, prouve bien que le fluide électrique, en traversant l'air, refoule les premières parties qu'il rencontre, produit un vide momentané dans lequel se précipite immédiatement après l'air environnant, et ainsi de suite, jusqu'à une distance qui dépend de l'intensité de l'électricité. Ce fait, qui est incontestable, ne suffit pas, suivant M. Pouillet, pour expliquer le roulement du tonnerre; les motifs qu'il allègue, pour soutenir son opinion, paraissent assez péremptoires pour que nous en fassions mention ici. Il pense que si telle était la cause du retentissement du tonnerre, le passage d'un boulet de canon dans les airs devrait produire un bruit analogue à celui du tonnerre, tandis qu'il ne fait entendre qu'un sifflement. Ce physicien pose en principe que l'électricité ne pouvant éclater entre deux corps, qu'autant qu'il y a décomposition et recomposition d'électricité entre toutes les parties qu'elle traverse, il doit en résulter des vibrations plus ou moins violentes dans la matière pondérable; plus les parties sont ténues, plus ces vibrations sont étendues. Le bruit serait donc le résultat de ces vibrations qui se propagent dans toute la masse environnante. Si l'on considère maintenant un éclair d'une longueur de quelques mille mètres, la lu-

mière devra briller successivement, quoiqu'à des instants excessivement rapprochés, entre tous les intervalles qui séparent les molécules aériennes, c'est-à-dire sur tout son trajet. L'ébranlement se produirait donc en même temps que l'éclair; mais comme le son se propage beaucoup plus long-temps, puisque sa vitesse n'est que de 340 mètres environ par seconde, il s'ensuit que si un observateur se trouve sur la ligne de l'éclair à cette distance de 340 mètres, il y aura d'abord un éclat de lumière, puis silence absolu pendant une seconde; immédiatement après le bruit commencera à lui parvenir; d'abord celui qui est produit par la vibration excitée dans la couche la plus voisine de lui, et ensuite le bruit des autres couches arrivera successivement sans interruption jusqu'à ce que celui qui provient des dernières couches ébranlées lui soit parvenu.

766. Cette explication paraît assez rationnelle, mais rien ne prouve cependant que l'ébranlement des parties constituantes de l'air suffise pour produire le bruit du tonnerre. M. Pouillet rejette l'explication que nous avons d'abord donnée du refoulement de l'air, comme cause principale du bruit, en se fondant sur ce que le boulet de canon ne produit jamais de détonation dans son passage à travers l'air, mais bien un sifflement. Nous ferons remarquer que les circonstances ne sont pas les mêmes; la vitesse du boulet est appréciable, tandis que celle de l'électricité ne l'est pas. Les effets ne doivent donc pas être semblables dans l'un et l'autre cas. La vitesse de l'électricité étant presque infinie, comparée à celle du boulet, le refoulement de l'air doit être excessivement plus considérable, et rien ne s'oppose alors à ce que les contractions et dilatations de l'air produisent des détonations avec retentissement.

767. Continuons à décrire les phénomènes de l'orage. Quand un nuage orageux se trouve à une distance suffisante de la terre, il exerce une action électrique par influence sur tous les corps qui s'y trouvent. S'il passe

au-dessus d'une grande masse d'eau, il peut en soulever une partie, jusqu'à ce que la distance soit suffisante pour que la décharge puisse avoir lieu; si elle s'opère par son intermédiaire ou par celui d'un corps qui se trouve sur la surface de la terre, on dit alors que le tonnerre est tombé.

768. L'homme et les animaux n'éprouvent aucun effet particulier de l'action par influence qu'ils éprouvent de la part de la matière électrique, quoique possédant une grande intensité; mais si le, nuage, par une cause quelconque, se décharge instantanément, la rentrée subite de la matière électrique dans le sol produit une très-vive commotion qui peut les foudroyer. Cet effet est appelé *le choc en retour.*

Il arrive quelquefois que, lorsqu'un corps quelconque est prêt à être frappé par la foudre, s'il se trouve en parfaite communication avec un sol humide, la matière électrique s'élance au-devant de celle du nuage pour opérer sa neutralisation; c'est ce qui a fait croire à quelques personnes que la foudre, au lieu de tomber de l'atmosphère sur la terre, s'élevait quelquefois de la terre dans les airs.

769. La foudre frappe de préférence les arbres isolés, qui s'élèvent à une grande hauteur, attendu que leurs cimes, leurs branches et leurs feuilles remplissent les fonctions de pointe et que leurs racines s'enfoncent profondément dans le sol; leur abri doit donc être souvent fatal aux personnes qui le recherchent. La matière ligneuse conduisant imparfaitement l'électricité, ou du moins ne la conduisant qu'en raison des liquides qu'elle renferme, il s'ensuit que l'électricité parvenue au pied des arbres se partage entre les conducteurs qu'elle rencontre, qui lui offrent un plus facile accès pour se rendre dans la terre; aussi arrive-t-il quelquefois qu'elle frappe tous les animaux qui s'y réfugient.

Les édifices élevés, les églises et les clochers n'offrent pas un abri plus sûr que les arbres; car après avoir at-

tiré la foudre, en raison de leur élévation, ne pouvant la conduire entièrement dans le sol, ils restent exposés à son action.

Les habitants des campagnes sont quelquefois dans l'usage de sonner les cloches à l'approche d'un orage pour dissiper la nuée. Pour peu que la corde soit humide et que le clocher se trouve dans la sphère d'activité de la nuée, les malheureux sonneurs sont foudroyés et payent de leur vie l'ignorance de ceux qui les ont employés. Au surplus, l'expérience a prouvé que le tonnerre tombe aussi bien sur les clochers où l'on sonne que sur ceux où l'on ne sonne pas.

770. Quand la foudre tombe sur un bâtiment habité, c'est toujours de préférence sur les tuyaux de cheminée, tant à cause de leur élévation que parce qu'ils sont tapissés intérieurement de suie, qui conduit mieux l'électricité que les briques et les pierres. Elle suit ordinairement les ferrures qui se trouvent sur son passage. On doit donc éviter de se placer dans les temps d'orage près des cheminées et des fenêtres. Nous n'indiquons pas toutes les mesures de précautions à prendre pour se garantir, autant que possible, des effets de la foudre, puisqu'elles résultent des propriétés générales de l'électricité sur lesquelles nous nous sommes suffisamment étendus.

§ II. *Effets particuliers de la foudre.*

771. La foudre, en raison de la force répulsive qu'elle exerce sur les particules de la matière, fend ou brise les corps solides non conducteurs; c'est ainsi qu'un arbre est souvent divisé en parties très-minces par son action.

Quand elle parcourt un fil métallique qui n'a pas une masse suffisante pour lui livrer passage, elle le fond en laissant des traces de fusion du métal sur les murs, les bois contigus, etc.

La foudre, en refoulant les parties matérielles des corps et comprimant l'air, dégage assez de chaleur pour

enflammer rapidement des substances ténues, telles que la paille, le foin, le coton, etc.

Quand elle a suivi un conducteur qui vient à lui manquer et qui pénètre un corps non conducteur, elle brise ce dernier pour reprendre le premier : c'est ainsi qu'elle projette en l'air des pièces métalliques scellées dans un mur.

Il arrive quelquefois que des individus sont foudroyés sans être tués. Cet effet est facile à concevoir; les corps étant de médiocres conducteurs, la matière électrique peut glisser dessus sans y entrer en totalité, surtout quand leur surface n'est pas humide. Quelquefois ils sont préservés de ses atteintes par un vêtement de soie, qui l'empêche également d'y pénétrer.

Quand la foudre pénètre dans l'intérieur du corps, elle détermine des lésions dans les organes, et en particulier dans le système vasculaire, qui tuent instantanément; en raison de ce désordre la putréfaction s'y manifeste très-promptement.

772. On est dans l'usage d'attribuer à la présence de la matière électrique dans l'air, pendant les orages, l'acescence du lait et la corruption des chairs, qui réellement sont plus promptes alors que dans tout autre temps. Nous ne connaissons pas assez le mode d'action de l'électricité, dans cette circonstance, pour donner une explication de ces deux phénomènes. Nous nous bornerons seulement à faire remarquer que la température élevée de l'air, dans la saison des orages, peut bien avoir aussi quelque part à leur production.

773. Fusinieri a constaté que la foudre, quand elle frappe des bâtiments, transporte avec elle des matières pondérables, dans un grand état de ténuité. Il a trouvé effectivement dans les dépôts qu'elle laisse sur les parties qu'elle frappe, des traces de fer, de soufre et de charbon.

Les diverses ramifications de la foudre, c'est-à-dire les petites étincelles qui jaillissent de la masse électrique,

laissent également des traces de matières pondérables dans un grand état de division. Le même physicien a remarqué que les dépôts formés par la foudre sont d'autant plus marqués qu'elle éprouve plus de difficultés à traverser les corps, et qu'à mesure qu'elle dépose de la matière elle en prend de nouvelle dans les corps combustibles qu'elle traverse.

774. La foudre dépose les matières transportées en couches minces et étendues comme le fait l'électricité voltaïque dans les expériences de Nobili. En examinant un de ces dépôts, il a trouvé qu'une des couches était brune au centre, jaunâtre et moins foncée sur les bords; effets dus au fer à différents degrés d'oxidation. Il a observé sur des pierres détachées par l'effet de la foudre une couche de sulfure de fer d'un demi-millim. de diamètre, et même des cristaux de sulfure de fer qui, d'après leur position, paraissaient avoir été formés dans le trajet de la foudre à travers le métal. Il résulterait donc de là, ce qui est difficile à admettre, que la matière électrique peut transporter le soufre en pénétrant dans le métal.

M. Fusinieri a observé également sur le verre des couches minces réfléchissant les couleurs du spectre; la portion centrale et pulvérulente était formée de plomb; la portion extérieure a paru ne renfermer que du fer plus ou moins oxidé : il a trouvé encore qu'une des lames minces était formée d'une couche excessivement ténue de fer métallique.

Ce physicien a cherché à se rendre compte d'où provenaient les diverses substances déposées par la foudre. Par exemple, les traces ferrugineuses qu'elle laisse dans les maisons qu'elle a frappées, peuvent provenir du fer qu'elle rencontre sur son passage, en traversant les diverses parties de ces maisons. Mais comme on retrouve encore ces traces de fer, ainsi que celles du soufre, sur les arbres qui ont été foudroyés, on est assez disposé à croire que ces deux substances se trouvaient dans la foudre.

M. Fusinieri considère comme un fait démontré la conjecture que nous venons de rapporter, attendu qu'il a trouvé des traces sulfureuses aux extrémités des racines d'un peuplier, par lesquelles la foudre était sortie.

Il paraîtrait qu'elle s'empare aussi, quand elle frappe des arbres, d'une partie du bois qu'elle décompose, telle que le charbon, tandis que l'autre se volatilise. Parfois l'odeur d'hydrogène sulfuré se fait sentir sur les parties ligneuses qui ont été traversées par la foudre.

775. Quelques-unes des observations de M. Fusinieri ont été confirmées par M. Boussingault, qui a reconnu l'existence de l'oxide de fer sur les arbres foudroyés, ainsi que celle d'une matière charbonneuse sur des roches cyanitiques.

On assure, d'un autre côté, que plusieurs voyageurs ont constaté l'existence du fer métallique sur diverses roches.

776. Il semblerait résulter de là, comme M. Fusinieri l'a avancé lui-même, que le fer existe dans les nuages orageux et qu'il y a peut-être été attiré de la terre, principalement des cimes des montagnes, où les orages commencent ordinairement à se former.

Peut-être est-ce à une cause semblable (1) que l'on doit rapporter la présence du fer dans l'eau de pluie déversée par les nuages orageux, comme on l'assure l'avoir constaté.

Les divers faits que nous venons de rapporter, la circonstance que les aérolithes tombent quelquefois à la suite d'apparitions de phénomènes météoriques, et surtout, le fait qu'on assure avoir vu des grêlons ayant pour noyau de petits fragments de sulfure de fer (2), lui ont paru suffisants pour attribuer la formation des aérolithes à des vapeurs sèches et ferrugineuses répandues dans l'atmosphère.

(1) Annales de Ch. et de Phys. Juillet 1827.
(2) Biblioth. univ. 1821.

Les inductions de M. Fusinieri doivent appeler l'attention des physiciens et des chimistes sur la nature des substances que la foudre laisse après elle, quand elle frappe un objet quelconque. Leurs observations pourront servir à jeter quelque jour sur des phénomènes météoriques dont l'origine nous est tout-à-fait inconnue.

777. La foudre, en traversant l'air, doit nécessairement produire une certaine quantité d'acide nitrique, de la même manière que Priestley en a obtenu en faisant passer une suite continue d'étincelles dans un tube recourbé rempli d'air, dont les deux extrémités plongeaient dans du mercure. Quelques physiciens ont cherché à attribuer à des décharges électriques au milieu d'un air humide, l'origine de la plus grande partie de l'acide nitrique qui, uni aux bases, forme le salpêtre que l'on trouve dans certaines nitrières artificielles. Sans nous expliquer pour l'instant sur la cause de la formation du salpêtre dans ces localités, nous ferons remarquer que M. Liebig, dont on connaît l'habileté, a constaté que l'eau de pluie d'orage contient de l'acide nitrique, et que M. Boussingault a observé que, dans les environs de Rio-Bamba, le nitre se forme de préférence dans les lieux où les orages sont fréquents.

Nous aurons l'occasion, en traitant des formations spontanées, de dire notre avis sur les causes qui donnent naissance au salpêtre naturel.

778. Nous ne devons pas oublier de mentionner ces effets lumineux que l'on remarque à l'extrémité des corps conducteurs qui se trouvent dans la sphère d'activité d'un nuage orageux. Ces effets sont dus au pouvoir des pointes et doivent se manifester dans des circonstances analogues. Nous avons déjà rapporté plusieurs exemples de ce genre, dans la partie historique de notre ouvrage, nous nous contenterons de relater ici le fait dont Saussure a été témoin sur la cime du Brévent. En 1781, ce célèbre physicien se trouvait sur cette montagne avec MM. Jallabert et Pictet. Chaque fois qu'il élevait la main, il ressentait autour des doigts une espèce de frémisse-

ment semblable à celui que l'on éprouve lorsqu'on s'approche d'un conducteur d'une machine électrique. Bientôt après on tira des étincelles d'un bouton d'or fixé à son chapeau. Il fut démontré par là que le phénomène était électrique. L'orage grondait alors dans un nuage situé au-dessus de leur tête. Une petite pluie étant survenue, tous les signes d'électricité disparurent.

On rapporte que (1), pendant un orage, des personnes qui se trouvaient la nuit sur un terrain élevé, virent les contours de leurs chapeaux, leurs gants, les oreilles, les queues et les crinières des chevaux, les troncs d'arbres isolés, entourés d'une auréole de feu. Ces flammes produisaient un léger sifflement analogue à celui que l'on remarque dans les phénomènes électriques.

779. La foudre en tombant produit souvent des effets extraordinaires, dont on ne peut se rendre compte qu'en examinant les lieux, la position des personnes et la manière dont elles sont vêtues. Nous allons en rapporter quelques exemples.

On cite (2) deux personnes qui, étant debout dans leur appartement, à la suite d'une violente explosion, firent brusquement l'une et l'autre un demi-tour sur elles-mêmes sans être blessées. Un jeune homme reçut la commotion sans être blessé, quoiqu'il fût éloigné de 24 pieds de la place où le tonnerre produisit l'effet principal. Du reste, cette explosion fut accompagnée des effets qui caractérisaient la chute de la foudre.

Quand la foudre traverse des barres de fer, elle doit produire des effets magnétiques comme l'électricité; c'est effectivement ce que l'on remarque souvent après un orage : des chevilles, des clous et même des aiguilles acquièrent alors la polarité magnétique.

---

(1) Annales de Ch. et de Phys., t. x, p. 284.
(2) Annales de Ch. et de Phys., t. x, p. 77.

§ III. *Des tubes fulminaires.*

780. Nous avons dit plus haut que lorsque la foudre tombe sur un point quelconque de la surface de la terre, elle suit toujours les corps meilleurs conducteurs qui se présentent à elle pour se rendre dans son intérieur. Si l'effet est énergique, les corps sont fondus ou brisés, quand la conductibilité n'est pas parfaite; mais si, pour atteindre des nappes d'eau à une certaine distance au-dessous de la surface terrestre, elle est obligée de traverser des masses plus ou moins considérables de sable ou de matières capables d'être fondues à une température élevée, il se produit alors, dans la direction de la décharge, des tubes vitrifiés, auxquels on a donné le nom de *tubes fulminaires*.

781. Ces tubes ont été observés pour la première fois en 1711 par le pasteur Herman, en Silésie; on les a retrouvés depuis en 1805, dans les landes de Paderborn, et ensuite dans d'autres localités; mais on n'a bien étudié leur formation qu'à Drigg. Ces tubes sont presque tous creux et descendent dans le sable, suivant la verticale, jusqu'à des parties humides, où le fluide électrique qui les a formés s'échappe dans toutes sortes de directions. On en a trouvé aussi dans des directions obliques. Leur longueur est de 20 à 30 pieds; ils sont divisés souvent en fragments par de longues fissures transversales; quelquefois le tuyau principal se divise en plusieurs tubes latéraux; leur paroi intérieure est un verre uni très-brillant, très-pur, et leur enveloppe est formée d'une croûte de grains de sable agglutinés, dont la couleur varie avec la nature des couches que parcourt la foudre.

A Drigg, les tubes fulminaires ont été formés au milieu de buttes de sable mouvant de 40 pieds de hauteur, dans le voisinage de la mer; leur diamètre total était de deux pouces et demi.

L'expérience de MM. Savart, Hachette et Beudant, ne laisse aucun doute sur l'origine des tubes fulminaires.

Ces trois physiciens, en faisant passer la décharge d'une très-forte batterie électrique à travers du verre pilé en poudre, ont obtenu des tubes de 25 millimètres de longueur, dont le diamètre extérieur, qui décroissait irrégulièrement d'une extrémité à l'autre, était de 2 à 3 mill., et le diamètre intérieur d'un mill. Ces tubes avaient peu de consistance; mais aussi la décharge employée ne pouvait être comparée en rien à celle de la foudre.

782. Le fait suivant vient encore à l'appui de l'explication que nous venons de donner des tubes fulminaires (1):

Le 3 septembre 1789, le tonnerre foudroya, dans le parc du comte d'Aylesford, un homme qui avait cherché un abri sous un arbre. La matière électrique avait suivi le bâton que ce malheureux portait à la main et qui lui servait d'appui. Le sol, dans le point auquel le bâton aboutissait, était percé d'un trou de 5 pouces de profondeur. En creusant, on trouva que le sol, dans la direction du trou, avait été noirci jusqu'à la profondeur de 10 pouces. 2 pouces au-dessous, le terrain quartzeux offrait des traces évidentes de fusion; on y trouva même un bloc de sable agglutiné par la chaleur.

783. Nous allons rapporter encore des effets de fusion analogues aux tubes fulminaires.

784. Tous les voyageurs ont remarqué sur les cimes des hautes montagnes, des traces de la foudre; la surface des rochers est fondue dans une certaine direction, ce qui annonce le passage d'une forte décharge. Saussure a trouvé, par exemple, sur la cime du Mont-Blanc, des masses d'amphibole schisteuse recouvertes de bulles noirâtres, vitreuses, qui ne pouvaient être rapportées qu'aux effets des décharges de l'électricité atmosphérique. M. Ramond a observé des effets semblables sur le pic du Midi, formé d'un schiste micacé glanduleux; la surface du sommet était recouverte d'un glacis de couleur

(1) Trans. ph. 1790.

jaunâtre, parsemé de bulles tantôt sphériques, tantôt pleines et vides. Il existe dans cette localité des rochers dont la face entière est recouverte de cet émail, qui n'a pas plus d'un mill. d'épaisseur. Le même naturaliste a observé un phénomène semblable au Mont-Perdu, qui est formé d'un calcaire bitumineux fétide, renfermant du sable quartzeux d'une extrême finesse. Un fait remarquable, c'est que la cause qui a vitrifié la surface de cette pierre, ne lui a pas enlevé cette odeur fétide dont on la prive aisément par l'action d'un acide ou d'une chaleur un peu forte.

785. MM. de Humboldt et Bonpland ont fait des observations semblables sur la plus haute cime du volcan de Toluca; la roche qui constitue cette cime est un porphyre trachytique rougeâtre, elle est recouverte d'un enduit vert d'olive, de $\frac{1}{10}$ de ligne d'épaisseur, semblable à celui de quelques aérolithes. Il est hors de doute que tous ces effets de fusion ne doivent être rapportés qu'à la foudre.

§ IV. *Des paratonnerres.*

786. La foudre frappant d'abord, quand elle tombe, les arbres et les édifices élevés, et suivant de préférence tous les conduits métalliques, à tous autres, pour se rendre dans le sol et s'y répandre, on conçoit sur-le-champ qu'une longue barre de fer, terminée en pointe, élevée verticalement sur un édifice et communiquant avec de la terre humide, sans aucune solution de continuité, doit le protéger efficacement. Une semblable barre de fer, convenablement disposée, est appelée *paratonnerre.* Pour concevoir de suite son efficacité et pour prouver qu'elle soutire d'une nuée orageuse une quantité énorme d'électricité, le lecteur peut consulter l'expérience (1) que Romas a faite avec un cerf-volant.

(1) Hist. de Priestley, t. II, p. 205. Trad. franç. et Tome Ier. p. 303 de cet ouvrage.

787. Les résultats de cette expérience ne laissent aucun doute sur l'efficacité des paratonnerres établis convenablement sur les édifices publics et privés, pour les protéger dans toutes leurs parties. L'expérience ayant sanctionné une foule de précautions que l'on ne doit pas négliger dans la pratique, nous croyons convenable de rapporter celles qui se trouvent consignées dans une instruction rédigée par une commission de l'Académie des Sciences, composée de MM. Poisson, Lefèvre-Gineau, Girard, Dulong, Fresnel et Gay-Lussac rapporteur (1).

788. Dès l'instant qu'un nuage orageux passe au-dessus d'un paratonnerre et se trouve dans sa sphère d'activité, il agit par influence sur la terre par son intermédiaire; son électricité attire celle de non-contraire du fluide naturel de la tige et repousse l'autre dans la terre; bientôt l'électricité, qui est à la pointe, acquiert une tension telle, qu'elle reforme du fluide neutre avec celle du nuage voisin. La tension est souvent si grande, que dans l'obscurité l'électricité s'échappe de la pointe en un torrent continu, sous forme d'aigrettes lumineuses.

Ces feux électriques sont plus fréquents en mer sur l'extrémité des mâts et des vergues que sur terre, parce que l'électricité n'a pas d'autres passages pour se rendre dans l'eau. Ils y sont connus depuis un temps immémorial sous les noms de *feu de St-Elme*, *Castor et Pollux*..... Dans de très-fortes tempêtes, on en a vu quelquefois sous la forme d'une langue de feu, qui faisaient entendre de petites détonations semblables à celles de pétards.

L'expérience a prouvé que, toutes choses égales d'ailleurs, plus un paratonnerre est élevé dans l'air, plus il a d'efficacité. On ne sait pas encore au juste la distance à laquelle il étend son action; cependant l'expérience a appris que toutes les parties des édifices qui sont placées à une distance du paratonnerre de plus de 3 ou 4 fois sa longueur, ont été foudroyées.

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. xxvi, p. 258.

Charles, qui s'est beaucoup occupé de cette question, pensait qu'un paratonnerre pouvait défendre efficacement autour de lui, des atteintes de la foudre, un espace circulaire d'un rayon double de sa hauteur. Cette règle a été adoptée dans la pratique.

789. Pour éviter que le paratonnerre soit foudu par le passage de la matière électrique, on prend une barre de fer de 16 à 20 millimètres en carré, et de 5 à 10 mètres de hauteur.

Nous répétons encore que le paratonnerre doit être en relation parfaite avec un sol humide, car lorsque son conducteur offre quelque part des solutions de continuité, il arrive que la foudre, après l'avoir frappé, l'abandonne pour se porter sur un corps voisin, qui lui offre plus de facilité pour se rendre dans le sol. Ce changement de conducteur est presque toujours accompagné d'explosion et de dégâts plus ou moins graves.

Nous allons entrer maintenant dans quelques détails relatifs à la construction des paratonnerres. La figure 14 représente un bâtiment armé d'un paratonnerre A B C D E F, sans aucune solution de continuité jusque dans l'eau d'un puits; la tige A B est, comme nous l'avons dit, une barre de fer carrée, amincie de sa base à son sommet en forme de pyramide. Pour une hauteur de 7 à 9 mètres, on lui donne à sa base de 54 à 60 millim. de côté. Le fer s'oxidant à l'action de l'air et de l'eau, l'extrémité de la tige AB que l'on retranche est remplacée par une tige conique de cuivre jaune doré, de 55 centimètres de longueur, et terminée par une petite aiguille de platine de 5 cent. de longueur; l'aiguille de platine est soudée à la soudure d'argent avec la tige de cuivre; dans la crainte qu'elle ne s'en sépare, on renforce l'ajustage par un petit manchon de cuivre, comme le montre la fig. 15. La tige de cuivre se réunit à la tige de fer au moyen d'un goujon qui entre à vis dans toutes deux, comme l'indique C, fig. 16.

Une tige de la dimension supposée étant d'un transport difficile, on la coupe en deux parties AI, IB (fig. 17),

au tiers ou aux deux cinquièmes environ de sa longueur, à partir de sa base. La partie supérieure AD (fig. 16) s'emboîte exactement par un tenon pyramidal DF de 19 à 20 centimètres dans la partie inférieure EB, et une goupille l'empêche de s'en séparer.

Au bas de la tige, à 8 centimètres du toit, on place une embase destinée à rejeter l'eau de pluie qui, coulant le long de la tige, pourrirait immédiatement les bois du toit. Au-dessus de l'embase, la tige est arrondie sur une étendue d'environ 5 centimètres, pour recevoir un collier brisé à charnière O, portant deux oreilles, entre lesquelles on serre l'extrémité du conducteur du paratonnerre, au moyen d'un boulon; le plan du collier est indiqué en P. Au lieu du collier on peut faire un étrier carré, qui embrasse étroitement la tige. On en voit la projection verticale en Q (fig. 17) et le plan en R (fig. 18). Si l'on veut diminuer le travail, on soude un tenon T (fig. 19) à la place du collier.

Si la tige du paratonnerre doit être posée au-dessus d'une ferme B (fig. 19 et 20), on perce le faîtage d'un trou carré de même dimension que le pied de la tige, et par-dessus et en dessous on fixe avec 4 boulons ou 2 étriers boulonnés, qui embrassent et serrent le faîtage, deux plaques de fer de 2 centimètres d'épaisseur, portant chacune un trou correspondant à celui qui est fait dans le bois. La tige s'appuie par un petit collet sur la plaque supérieure, contre laquelle on la presse fortement au moyen d'un écrou se vissant sur l'extrémité de la tige contre la plaque inférieure. La fig. 21 montre le plan d'une de ces plaques.

Dans le cas où le paratonnerre doit être placé sur une voûte, on le termine par 3 ou 4 empâtements qu'on scelle dans la pierre avec du plomb.

Le conducteur qu'on adapte au paratonnerre est une barre de fer BCDEF ou B'C'D'E'F' (fig. 14), de 13 à 20 millimètres en carré. On la réunit solidement à la tige en la pressant entre les deux oreilles du collier O (fig. 16), au moyen d'un boulon, ou bien on la termine par une four-

chette NI (fig. 18), qui embrasse la queue N de l'étrier, et on boulonne les deux pièces ensemble. Ce conducteur est formé de plusieurs barres réunies bout à bout. Quand le conducteur a été replié sur la corniche du bâtiment (fig. 14) sans la toucher, on l'applique contre le mur, le long duquel il doit descendre dans le sol, en le fixant au moyen de crampons que l'on scelle dans la pierre. Quand il est arrivé dans le sol en DD' à 50 ou 55 centimètres au-dessous de sa surface, on le recourbe perpendiculairement au mur suivant DE, ou D'E', et on le plonge dans cette nouvelle direction de 4 à 5 mètres, puis on l'enfonce dans un puits EF ou dans un trou E'F' de 4 à 5 mètres, si l'on ne rencontre pas l'eau, car si on la rencontre, on ne s'enfonce pas autant. Pour préserver le fer, qui s'enfonce dans le sol, de la rouille, on fait courir le conducteur dans un auget rempli de charbon DE ou D'E': on se sert à cet effet de braise de boulanger, qui a, outre l'avantage de préserver le fer de l'oxidation, celui de conduire mieux l'électricité que le charbon ordinaire.

L'expérience a prouvé que le fer, ainsi enveloppé de braise, n'éprouve aucune altération dans l'espace de 30 années.

790. Le conducteur doit être plongé de 65 centimètres au moins dans l'eau, lorsqu'elle est le plus bas possible. Son extrémité inférieure est terminée ordinairement par 2 ou 3 racines, pour faciliter l'écoulement de l'électricité dans le terrain environnant.

Quand on veut faire passer le conducteur dans un terrain sec et mauvais conducteur, tel que le roc, on donne à la tranchée qui doit le recevoir, une longueur au moins double de celle qui a été indiquée pour un terrain ordinaire. Si cela n'est pas possible, on en fait d'autres transversales, dans lesquelles on place de petites barres de fer, entourées de braise, que l'on met en communication avec le conducteur; celui-ci doit toujours s'enfoncer dans un trou, s'y diviser en plusieurs racines et être recouvert de toutes parts de braise.

Il faut toujours avoir l'attention d'établir les tranchées dans les endroits les plus humides, à peu de distance du bâtiment.

791. Les barres de fer ne pouvant, à cause de leur rigidité, suivre sans quelques difficultés les contours du bâtiment, on les remplace par des cordons métalliques, qui ont l'avantage sur les barres de ne point avoir de raccord, ce qui diminue par conséquent les chances de solution de continuité. Ces cordes, qui sont formées de 15 fils de fer tordu, ont ordinairement un diamètre de 16 à 18 millimètres. Pour les préserver de l'action de l'air, chaque fil est goudronné séparément, puis la corde entière. Celle-ci est attachée à la tige du paratonnerre, de manière à éviter les solutions de continuité. On a reconnu, par expérience, que de semblables cordes n'éprouvaient pas d'altération dans l'espace de trente ans; cependant, quand on le peut, il vaut encore mieux employer des barres, qui sont beaucoup moins destructibles.

792. Quand on pose un paratonnerre, il faut avoir l'attention de faire communiquer avec le conducteur, les pièces de métal un peu considérables qui se trouvent dans le bâtiment, telles que les lames de plomb recouvrant le faîtage, les arêtes du toit et les gouttières en métal. Il est d'autant plus important d'établir cette communication, qu'il pourrait se faire que la foudre se portât avec fracas du paratonnerre sur quelques-unes des parties métalliques.

793. La hauteur des tiges des paratonnerres varie avec les bâtiments sur lesquels on les élève; les dômes et les clochers, par exemple, dominant de beaucoup les objets voisins, on n'a pas besoin, pour les protéger, de leur donner la même longueur que pour les édifices terminés par un toit très-étendu; aussi n'emploie-t-on que des tiges minces, s'élèvant de 1 à 2 mètres au-dessus des croix qui les terminent. On peut, si l'on veut, se contenter de ces croix en établissant une communication très-intime entre elles et le sol. La fig. 22 représente un

clocher sans tige de paratonnerre, dont la croix est en communication avec le sol, au moyen d'un conducteur partant de son pied; et la fig. 23, un clocher surmonté d'une tige attachée à sa croix.

794. La prudence recommande, quand il s'agit de garantir les magasins à poudre, de placer les tiges des paratonnerres à peu de distance, comme l'indique la figure 24. On évite par là les effets qui pourraient résulter des solutions de continuité. Pour un vaisseau, la tige du paratonnerre se compose seulement de la partie en cuivre Ac (fig. 25); cette tige est vissée sur une verge de fer ronde CB (fig. 25 *bis*), qui entre dans l'extrémité I de la flèche du mât de perroquet. Une barre de fer MQ, liée au pied de la verge, descend le long de la flèche et se termine par un crochet ou anneau auquel s'attache le conducteur du paratonnerre, qui est ici une corde métallique; celle-ci est maintenue de distance en distance à un cordage *gg* (fig. 25), et après avoir passé dans un anneau *b* fixé au porte-hauban, elle se réunit à une barre ou plaque de métal, qui communique avec le doublage en cuivre du vaisseau.

795. Nous terminerons ce que nous avons à dire sur les paratonnerres, en recommandant, lorsqu'on en place un ou plusieurs sur un édifice, de les faire communiquer ensemble, et avec un conducteur commun situé à égale distance de chaque tige (fig. 26 et 27). Pour trois paratonnerres, il est prudent de leur donner deux conducteurs. En général, il faut prendre un conducteur particulier pour chaque paire de paratonnerres, et établir une communication intime entre les pieds de toutes les tiges.

CHAPITRE VI.

DE L'AURORE BORÉALE CONSIDÉRÉE COMME UN PHÉNOMÈNE ÉLECTRIQUE.

796. L'AURORE boréale, qu'on pourrait appeler avec plus juste titre aurore polaire, est cette lueur formée par des rayons lumineux diversement colorés, qui jaillissent de toutes les parties de l'horizon, à certaines époques, dans l'hémisphère nord, ou dans l'hémisphère sud. Le point du ciel où ces rayons convergent est précisément celui vers lequel se dirige une aiguille aimantée, librement suspendue par son centre de gravité. Les cercles concentriques qui précèdent les jets lumineux, ont de la ressemblance avec l'arc-en-ciel; reposent chacun sur deux parties de l'horizon également éloignées du méridien magnétique; leurs points les plus élevés se trouvent exactement dans ce même méridien. Il est permis, d'après cela, de supposer au phénomène une origine électrique.

L'aurore n'a pas toujours le même éclat. Pendant toute la durée de son apparition, la lumière s'affaiblit quelquefois pendant des heures entières, jusqu'au point de devenir à peine visible; puis elle se ravive subitement.

Tels sont les effets généraux qui caractérisent l'aurore boréale dans notre hémisphère, la seule que nous puissions apercevoir.

797. Mais l'apparition de ce phénomène est annoncée encore par d'autres effets; il exerce sur la marche des

variations diurnes de l'aiguille aimantée une influence marquée, dont on doit tenir compte dans la théorie que l'on cherche à en donner. L'amplitude de ces variations est de 15 à 18 minutes; mais si une aurore se montre, l'aiguille aimantée, même dans l'endroit où elle n'est pas visible, s'éloigne souvent en quelques instants de plusieurs degrés du méridien magnétique, dans un sens ou dans un autre.

M. Arago, qui s'est beaucoup occupé de cette question, s'est demandé comment on pouvait concilier une influence aussi marquée avec des observations d'où il semble résulter que la même aurore, qui transporte aussi subitement une aiguille aimantée d'un côté ou de l'autre du méridien magnétique, laisse immobile une aiguille aimantée voisine. Cette question ne peut être résolue dans l'état actuel de la science.

798. Il suffit d'avoir vu une seule fois une aurore boréale, pour être frappé de la ressemblance qu'elle présente avec quelques-uns des effets de l'électricité, lorsqu'elle traverse un milieu raréfié. Il en résulte une lumière diffuse, semblable à celle qui caractérise l'aurore boréale : même variété de couleur et d'intensité, même mouvement d'ondulation. Les jets de lumière de l'aurore boréale se divisent quelquefois en nombreuses ramifications, et d'autres fois se réunissent de manière à ne former qu'une masse lumineuse; diverses portions des jets prennent une teinte purpurine embrasée; il en est de même de l'électricité, lorsque la raréfaction de l'air est très-grande. D'un autre côté, quand on voit la lumière qui se manifeste entre les pointes peu éloignées de deux morceaux de charbon, en communication avec les deux pôles d'une pile voltaïque, réagir sur l'aiguille aimantée, comme le fait un fil métallique traversé par un courant, n'est-il pas permis de croire aussi que les rayons lumineux de l'aurore polaire, qui convergent vers le point où se dirige l'aiguille aimantée, sont autant de courants électriques lumineux, qui obéissent à l'action du magné-

tisme de la terre et doivent exercer une influence sur nos aiguilles aimantées?

799. Plusieurs physiciens ont cherché à déterminer la distance de la terre à laquelle ce phénomène se produit; mais jusqu'ici on ne sait encore rien de bien certain à cet égard. Cavendish l'a évaluée à 71 milles anglais; à cette distance, l'air est un million quarante-huit mille cinq cent soixante et seize fois plus rare qu'à la surface de la terre.

800. Les aurores boréales sont d'autant plus visibles qu'on est plus rapproché des pôles. Dans les îles Schetland, elles ont un éclat des plus remarquables; elles commencent ordinairement à se manifester à l'entrée de la nuit, précisément au-dessous de l'horizon, sans rien présenter de particulier sous le rapport de l'éclat ou du mouvement; mais peu à peu elles donnent naissance à des courants lumineux, jetant beaucoup d'éclat et dont les colonnes changeantes varient de formes et de couleur; elles embrassent ordinairement la partie de l'atmosphère accessible à la vue et offrent un spectacle magnifique qui frappe vivement l'imagination. Sous la latitude nord de la Laponie, leur lumière suffit pour éclairer les voyageurs pendant toute la nuit. Dans les parties nord-est de la Sibérie, les rayons lumineux, qui présentent les teintes les plus variées, se meuvent avec une vitesse incroyable.

801. Un grand nombre d'observateurs ont avancé que ce météore est accompagné d'un fort sifflement et d'un bruit particulier qui effraie les habitants. Cavallo assure l'avoir entendu distinctement dans plusieurs occasions; d'autres personnes ont soutenu une opinion contraire. Mais nous ne saurions révoquer en doute les assertions des habitants des îles Schetland qui, sans aucune préoccupation théorique, ont assuré l'avoir entendu. Tout ce que nous pouvons conclure de cette diversité d'opinions, c'est que le bruit qui accompagne les aurores boréales ne se fait pas entendre dans toutes les localités.

D'un autre côté, si le phénomène se passe dans les

régions les plus élevées de l'atmosphère, là où l'air est excessivement raréfié, comment expliquer la production du bruit que l'on suppose résulter des décharges électriques qui produisent la lumière septentrionale?

802. Nous avons dit, au commencement de ce paragraphe, que l'aurore boréale exerçait une influence sur l'aiguille aimantée, qui troublait la marche régulière de ses variations diurnes. Quelques physiciens ont cherché à prouver le contraire; ils se sont appuyés pour cela sur les observations du capitaine Forster, qui n'a remarqué aucune perturbation de ce genre au port Bowen. Mais il suffit de comparer les lieux, sous le rapport des variations diurnes, pour interpréter la conséquence que le capitaine Forster a tirée de ses observations. Par exemple, on a observé, à Paris, que l'aiguille horizontale a une marche très-régulière; elle fait tous les jours, dans la même semaine, à quelques secondes près, des excursions d'égale amplitude; il en résulte, comme le dit M. Arago, que des changements accidentels de direction de 3 ou 4 minutes doivent frapper l'observateur le moins attentif, et que des perturbations de 10, 15 et 20 minutes, doivent lui paraître énormes. Il n'en a pas été de même au port Bowen, où les déclinaisons d'un jour et celles du lendemain, aux mêmes heures, sont ordinairement très-différentes : il en résulte dans ce cas que l'on ne peut distinguer les anomalies accidentelles produites par les aurores boréales.

On voit donc que les observations du capitaine Forster ne prouvent pas qu'il y ait au nord, pendant les aurores, de moindres dérangements de l'aiguille aimantée qu'à Paris.

803. On a voulu rapporter aussi à l'électricité ces météores ou globes de feu qui apparaissent dans presque toutes les saisons, dans notre atmosphère, et particulièrement pendant les belles nuits d'été, lesquels sont accompagnés souvent d'une chute de pierres; cette dernière circonstance annonce que leur production ne saurait avoir une origine électrique, à moins d'admettre, ce qui est peu

vraisemblable, que ces pierres ont été produites au moyen de l'étincelle électrique, à la manière de l'eau dans l'eudiomètre de Volta. Le plus habituellement, ces météores, connus sous le nom d'étoiles filantes, consistent en une lumière plus ou moins vive, se mouvant, avec une grande rapidité, dans toutes sortes de directions inclinées par rapport à la terre. On s'est appuyé, pour leur donner une origine électrique, sur ce que leur lumière a de l'analogie avec celle de l'électricité, et que leur mouvement paraît être aussi rapide ; mais ces indications sont trop vagues pour qu'on puisse établir un rapprochement entre ces météores et des décharges électriques.

CHAPITRE VII.

DE LA GRÊLE, CONSIDÉRÉE COMME UN PHÉNOMÈNE ÉLECTRIQUE.

§ Ier. *Effets généraux.*

804. Nous ne parlons de la grêle, dans cet ouvrage, que parce que quelques physiciens, à la tête desquels on doit placer Volta, attribuent sa formation à l'électricité. Nous ignorons encore quelle est la véritable origine de ce phénomène; mais l'illustre auteur de la pile en a présenté une théorie si séduisante, que c'est un devoir pour nous d'en parler avec quelques détails.

La chute de la grêle est toujours précédée d'un bruissement particulier dans les airs, que l'on compare à celui que fait entendre un sac de noix que l'on agite fortement; elle est, en outre, toujours accompagnée d'effets électriques, comme la pluie et la neige; le tonnerre se fait quelquefois entendre avant le bruit précurseur; il se fait entendre aussi pendant la chute même. Il semblerait donc que l'électricité intervient d'une manière quelconque dans la production du phénomène; mais comme de pareils effets se produisent dans les pluies orageuses, on ne peut en conclure que, réellement, la grêle ait une origine électrique.

Dans nos climats, la grêle se forme le plus ordinairement dans le printemps et l'été, aux heures les plut chaudes de la journée; rarement il en tombe pendans

la nuit. La grêle précède les pluies d'orage et les accompagne quelquefois, mais rarement elle les suit. Les nuages qui déversent la grêle sont ordinairement très-épais, et ont une nuance cendrée qui leur est propre; leurs bords sont échancrés, et leurs surfaces sont remplies çà et là de protubérances très-irrégulières : on a remarqué qu'ils sont en général peu élevés.

Le grêlon est ordinairement formé de plusieurs couches distinctes de glace transparente autour d'un noyau blanc, qui n'est autre qu'un flocon de neige. La grosseur de chaque grain est très-variable; on en voit de la grosseur d'une noix, et quelquefois de plus gros. Comment concevoir que des morceaux solides de glace aussi pesants, dont l'ensemble compose ces nuages couleur de cendre qui annoncent la grêle, puissent se soutenir en l'air, se développer ou rester immobiles sous l'amas de nuages obscurs qui couvrent une partie du ciel?

§ II. *Théorie de Volta.*

Volta a essayé de rendre compte de ces différents effets, tout en ne se dissimulant pas les difficultés que nous venons de signaler. Commençons par expliquer, suivant lui, le froid qui congèle l'eau, et la cause en vertu de laquelle un grêlon, qui a déjà acquis un certain volume, reste suspendu encore dans l'air assez longtemps pour arriver à un volume qui va quelquefois jusqu'à 10 ou 12 pouces de circonférence. Le froid excessif qui parvient à congeler les molécules aqueuses en été, au beau milieu du jour, dans une région inférieure à celle des neiges, est le résultat d'une évaporation extrêmement rapide et abondante, produite par les rayons du soleil qui frappe la partie supérieure. Cette évaporation est d'autant plus rapide, que l'air est plus raréfié et plus électrisé; car il admet que l'électricité favorise à un haut degré l'évaporation. D'après cela, une portion du nuage, en se vaporisant, abaisse assez la température de l'autre portion pour la congeler.

Il cite, en faveur de son opinion, l'effet produit dans la machine des mines de Schemnitz, où le jet d'eau qui en sort se congèle sur les objets qu'on lui présente, et que les gouttelettes vésiculaires, en raison de leur composition, doivent être aussi plus disposées à l'évaporation.

Il rappelle encore l'expérience faite par les académiciens français en Laponie, qui ayant introduit de l'air excessivement froid dans une chambre chaude et pleine de vapeurs dans laquelle ils se trouvaient, virent en peu de temps leurs habits et le sol couverts de petits flocons de neige.

805. Volta commence d'abord par réfuter l'opinion des physiciens qui ont avancé que le noyau, d'abord très-petit, se revêt de couches successives de glace pendant sa chute. Il donne pour raison que les nuages n'étant pas situés au delà de 6 milles italiens de distance de la surface de la terre, le grain primitivement gelé ne mettrait pas assez de temps pour tomber à terre, de manière à s'encroûter suffisamment pour acquérir la grosseur d'une noix. Il ne voit, en conséquence, que l'électricité qui soit capable de tenir suspendus en l'air ces grains, même lorsqu'ils ont acquis une certaine grosseur. Voici comment il fait intervenir l'électricité dans la production de ce phénomène :

806. Si l'on conçoit les nuages orageux doués, comme ils le sont en effet, d'une quantité énorme d'électricité, leurs parties extérieures sont fortement repoussées; il en résulte une grande irrégularité dans leurs bords et les diverses courbures de leur surface, comme on l'observe effectivement. Ces nuages sont accompagnés quelquefois de petits nuages condensés dans la partie inférieure seulement, parce qu'elle est moins électrisée que celle qui est au-dessus. Volta assure, à ce sujet, avoir constaté qu'il y a des nuages, dans les forts orages, dont la face supérieure possède la plus puissante électricité.

807. Supposons, dit-il, qu'un de ces nuages forte-

ment électrisé soit congelé presque subitement à la face supérieure; par suite d'une très-grande évaporation; il en résultera alors une multitude de petits glaçons, qui seront les noyaux des grains de grêle. Ces noyaux, rejetés en haut par la forte répulsion électrique du nuage, seront tenus suspendus à une certaine distance, de la même manière qu'un flocon de coton ou tout autre corpuscule léger est tenu suspendu dans l'air au moyen d'un tube de verre électrisé qu'on place au-dessous. C'est ainsi que, si l'on place ces petits corps sur un large plateau isolé et horizontal, on peut, en l'électrisant fortement, les voir s'élever dans l'air et s'y soutenir aussi long-temps que le plateau reste électrisé. Telle est l'image de la grêle. Si cette comparaison est exacte, il faut que les grains de grêle exécutent, à mesure qu'ils deviennent plus gros, les mêmes mouvements que les corpuscules légers soumis à l'action du plateau électrisé. Aussi, d'après Volta, ces grains oscillent au-dessus du nuage fortement électrisé, et tombent successivement, en vertu de leur propre poids, quand ils ont perdu leur électricité; ils arrivent alors à la partie élastique du nuage, où ils prennent de l'électricité et sont chassés de nouveau; ceux qui ne peuvent surmonter la force de leur chute tombent à terre. Ce sont ces grains rares et solitaires qui s'échappent çà et là, et précèdent la grêle abondante qui va bientôt tomber. Le mouvement et la suspension des autres grains qui voltigent au-dessus du nuage diminuent à mesure que leur masse individuelle s'accroît par l'adjonction de nouvelles couches d'eau glacée et que la force de l'électricité diminue; il arrive ensuite un instant où, entraînés par leur propre poids, ils tombent en abondance sur la terre.

Volta a senti la nécessité, pour compléter son explication, de supposer l'existence de deux ou plusieurs nuages l'un au-dessus de l'autre, électrisés contrairement. Dans ce cas, on peut se représenter les grains de grêle non-seulement comme suspendus et flottants, mais encore comme se trouvant dans une vive agitation,

poussés et repoussés de la couche du nuage électrisé en plus à celle du nuage électrisé en moins; comme le sont les balles de sureau dans la danse des pantins.

808. L'existence de nuages chargés d'électricité contraire ne saurait être révoquée en doute; mille faits le prouvent. Volta fait observer à ce sujet, comme plusieurs physiciens l'avaient fait avant lui, qu'il lui est arrivé, en explorant l'électricité des nuages dans les temps d'orage, de voir son appareil accuser tantôt l'une des électricités, tantôt l'autre, et cela jusqu'à huit, dix et même quatorze fois dans une minute.

809. Ce grand physicien n'a pas été embarrassé pour trouver deux nuages électrisés différemment; dans sa manière de voir, les vapeurs, à l'instant où elles se forment, s'électrisent négativement, et positivement quand elles se condensent; d'où il suit que le nuage le plus condensé doit posséder l'électricité positive. Lorsqu'un nuage épais est frappé par les rayons du soleil, il s'élève immédiatement un courant de vapeurs chargé de la même électricité que le nuage; parvenue dans une région plus froide, cette vapeur s'y condense et manifeste une électricité contraire.

810. Quant au bruissement qu'on entend à l'instant que la grêle tombe, Volta l'attribue au choc des grêlons les uns contre les autres, lorsqu'ils sont ballottés d'un nuage à l'autre.

811. La théorie que nous venons d'exposer, qui rend compte d'une manière si satisfaisante en apparence de la formation et de la chute de la grêle, est loin d'être à l'abri de toute objection, comme on va le voir.

Il est impossible d'abord d'admettre le mode d'électrisation des nuages, tel que le concevait Volta, puisque nous savons parfaitement maintenant qu'il n'y a jamais d'électricité rendue libre quand les corps changent d'état sans être décomposés. On se demande ensuite comment il se fait que deux nuages électrisés différemment ne soient pas immédiatement ramenés à l'état neutre, quand il existe un si grand nombre de petits conduc-

teurs qui établissent continuellement la communication entre eux; comment des glaçons, qui pèsent quelquefois une demi-livre, peuvent être renvoyés d'un nuage à l'autre comme des corps légers. A la vérité, l'électricité que recèlent les nuages orageux, denses, est souvent si intense, qu'il ne serait pas étonnant qu'un semblable ballottage eût lieu : mais alors on devrait apercevoir un feu continuel d'étincelles, ce qui n'a jamais été observé.

812. On a contesté à Volta la congélation des nuages par l'action seule des rayons solaires, attendu qu'il est difficile d'admettre que la lumière solaire ou toute autre cause calorifique puisse hâter l'évaporation d'un liquide quelconque sans amener son échauffement. On a cité, par exemple, contre sa théorie, l'expérience suivante : si l'on entoure de linges mouillés deux thermomètres parfaitement semblables, l'un exposé à l'ombre, l'autre au soleil, on observe une évaporation beaucoup plus prompte sur ce dernier, laquelle n'est pas accompagnée d'un refroidissement, mais bien d'une augmentation sensible de chaleur.

813. M. Bellani, qui a combattu la théorie de Volta, cite un orage qui eut lieu au mois de juillet 1806, avant le lever du soleil, et pendant lequel il tomba une grande quantité de grêle, quoique l'on n'eût aperçu la veille aucun indice d'orage dans l'étendue de l'horizon.

814. Suivant ce même physicien, le ballottement des grêlons ne se passe pas comme Volta l'a imaginé. Dans la danse des pantins, les plaques métalliques électrisées, entre lesquelles oscillent les balles de sureau, ne changent pas de place; il n'en est pas de même des particules constituantes des nuages, elles sont douées, au contraire, d'une très-grande mobilité : dès lors comment peuventelles rester seules immobiles, et échapper à l'action des forces électriques qui communiquent un mouvement oscillatoire à une quantité immense de grêlons d'une grosseur qui va souvent jusqu'à plusieurs onces? Ces actions devraient opérer nécessairement, comme nous l'avons

déjà dit, la prompte réunion des deux nuages. Cette objection de M. Bellani est fondée; car si, dans l'expérience de la danse des pantins, on substitue à la plaque inférieure une nappe d'eau, cette danse n'a plus lieu; les balles, en descendant, pénètrent dans le liquide et ne se relèvent plus. Les nuages doivent présenter le même phénomène. Il résulte de là que, pour peu qu'en vertu de la vitesse acquise du choc d'autres grêlons, il y ait pénétration dans le nuage inférieur, toute répulsion devrait cesser, et les grêlonsenfoncés tomberaient de temps à autre sur la terre pendant des heures entières, ce qui est contraire à l'observation.

Si la théorie de Volta est vraie, et que les nuages orageux possèdent une force attractive assez grande pour faire osciller pendant des heures entières des masses de glace du poids de plusieurs onces, l'action électrique s'exerçant entre le nuage inférieur et la terre devrait attirer des poussières, des graviers, etc., ce qui n'a jamais été remarqué.

815. Tout en exposant la théorie de Volta, nous avons dû faire connaître les principales objections que l'on y a faites, et qui sont en partie fondées; néanmoins on ne doit pas encore la considérer comme complétement renversée. Quel que soit le sort qui lui est destiné, on doit toujours la considérer comme l'œuvre d'un homme de génie.

816. On a voulu dans quelques contrées établir des appareils appelés *paragrêles,* pour les préserver des terribles effets de la grêle; mais il suffit de se rappeler les propriétés générales de l'électricité pour se convaincre de leur peu d'efficacité. Ces appareils sont de grandes perches de bois, surmontées quelquefois à leur sommet d'une pointe aiguë en cuivre et d'un fil métallique qui les lie au sol humide; quelquefois on supprime le fil. Sans ce fil, l'appareil ne peut soutirer l'électricité des nuages, puisque le bois est mauvais conducteur, et cependant on prétend que l'appareil est aussi efficace dans un cas que dans l'autre. En supprimant le fil métallique, un

arbre doit être encore plus efficace que la perche, en raison de son élévation, et cependant l'expérience prouve qu'il grêle dans les pays les plus boisés. Ainsi donc, il ne pourrait tout au plus y avoir d'effets produits que par les paragrêles dans lesquels se trouverait un fil métallique depuis le sommet des perches jusqu'au sol; et cependant l'expérience a prouvé qu'il grêle fréquemment dans l'intérieur des villes où il existe de nombreux paratonnerres. Nous ne croyons pas devoir nous étendre davantage sur cette invention de l'ignorance, dont la science et le bon sens public ont déjà fait justice.

DE L'ACTION
DE L'ÉLECTRICITÉ
SUR LES CORPS ORGANISÉS.

LIVRE X.

CHAPITRE PREMIER.

RECHERCHES RELATIVES A L'ACTION DE L'ÉLECTRICITÉ SUR LES VÉGÉTAUX.

§ Ier. *Considérations générales.*

817. ESSAYER de découvrir quelques-unes des forces qui président aux fonctions vitales dans les végétaux et les animaux, est une entreprise dont les résultats ne sont rien moins que certains dans l'état actuel de la science. On est naturellement porté à leur accorder une origine électrique, en raison de la présence de l'électricité dans tous les corps et du rôle important qu'elle joue dans les actions chimiques; mais on n'a pu parvenir encore à donner à cette supposition l'apparence d'une réalité. Ce qu'il y a de mieux à faire pour l'instant, n'est pas de rechercher si les forces électriques sont capables de produire des tissus, des membranes ou des organes, puisque l'on ne peut y parvenir, mais bien de découvrir les modifications qu'elles leur font éprouver quand

elles agissent comme forces chimiques, pour favoriser ou contrarier l'action des forces vitales, ou comme forces physiques, pour exciter ces mêmes parties en produisant des contractions ou une accélération dans la circulation des liquides. C'est le seul moyen de pouvoir établir des rapports entre les forces électriques et les forces vitales dont la nature nous est inconnue. Nous commencerons par l'application de l'électricité à la végétation et aux phénomènes physiologiques des plantes, parce que leur organisation est plus simple que celle des animaux, et qu'elles se prêtent plus facilement aux expériences que les autres corps organisés.

818. On s'est occupé pendant longtemps de déterminer l'influence que pouvait avoir l'électricité libre sur la germination des graines et la nutrition des plantes, mais la science n'avait recueilli, jusque dans ces derniers temps, aucun fait digne de remarque. L'action des appareils voltaïques n'avait produit non plus rien de satisfaisant. Quelques physiciens, à la vérité, avaient pensé que les réactions chimiques qui ont lieu dans les végétaux s'opéraient par des effets semblables à ceux qu'éprouvent les dissolutions soumises à l'action de la pile; mais cette opinion, quoique très-vraisemblable, n'ayant été appuyée d'aucune observation tant soit peu probante, n'a pu prendre rang dans la science comme une vérité. On a avancé également, sans en donner de preuves suffisantes, que l'électricité atmosphérique exerçait une influence déterminante sur la végétation, et que dans les années orageuses, par exemple, les récoltes de céréales et de légumineuses étaient plus abondantes que dans les années ordinaires; mais si les observateurs eussent tenu compte des effets produits par la température élevée de l'air et les pluies abondantes dans la saison des orages, ils auraient été plus circonspects dans les conséquences qu'ils ont tirées de leurs observations.

819. Nous sommes bien éloignés de croire que le fluide électrique qui se trouve constamment dans l'atmosphère, soit sans action sur les phénomènes de la

vie en général, ainsi que sur les phénomènes du règne inorganique, mais nous pensons que l'on n'a pas suivi jusqu'ici la route la plus convenable pour découvrir jusqu'à quel point ce fluide favorise ou retarde en général l'action des forces vitales. Ce singulier agent, qui semble se montrer partout comme un principe universel, puisqu'il est essentiel à la constitution des corps, réagit de deux manières sur les parties qu'il traverse : il y produit des commotions ou des réactions chimiques. Dans le premier cas, il détermine entre toutes leurs particules des décompositions et recompositions de fluide naturel, qui sont accompagnées d'un déplacement de ces mêmes particules, lequel est d'autant plus grand que la source d'électricité est plus abondante. Si elle est très-forte, et que les parties constituantes, les tissus ou les vaisseaux offrent peu de résistance, il y a alors déchirement, désorganisation. Si elle est faible, au contraire, il en résulte un état d'excitation capable de faire sortir les organes de l'état d'atonie où ils peuvent se trouver. Ce mode d'action ne peut être assimilé en rien aux forces vitales qui engendrent une foule de réactions chimiques; les effets produits dans cette circonstance sont mécaniques et par conséquent très-bornés.

Quant au rôle que joue l'électricité comme force chimique, les effets varient également en raison de l'intensité des courants. Avec des courants énergiques, les corps sont désorganisés, tandis qu'avec de faibles courants on produit de nombreuses réactions chimiques, dont il est difficile de se rendre compte *à priori*, en raison de l'état composé des corps organisés. En effet, quand nous voulons agir sur une partie quelconque d'une plante, nous ne pouvons éviter l'action qui a lieu sur les parties adjacentes; dès lors il en résulte un effet général, dans lequel il est difficile d'apercevoir l'effet particulier produit sur la partie que l'on soumet à l'expérience.

§ II. *De l'excitabilité produite dans les plantes par les courants électriques.*

820. Les végétaux sont infiniment moins excitables que les animaux sous l'influence de l'électricité; quelques espèces possèdent seulement cette faculté, comme le lecteur pourra s'en convaincre par les expériences suivantes.

Nous commencerons par faire remarquer que les végétaux, et en général tous les corps organisés, ne conduisent l'électricité qu'en raison des liquides dont ils sont imprégnés, car ils cessent de lui donner passage dès l'instant que toutes leurs parties sont desséchées. Nous ignorons, à la vérité, si, sous l'action des forces vitales, certains organes ou tissus difficiles à isoler ne jouissent pas par eux-mêmes de la propriété conductrice; propriété qui disparaîtrait peu de temps après la mort. Aucune expérience n'a encore été faite à ce sujet.

Les phénomènes de contraction, produits dans les animaux par l'action de l'électricité, portent à croire, comme nous le verrons plus loin, que les nerfs paraissent posséder des propriétés indépendantes du liquide qui les pénètre. Il pourrait donc se faire que, dans les végétaux, il se trouvât pareillement des organes doués de facultés semblables.

Giulio, de Turin, ayant armé les branches de la *mimosa sensitiva* en deux endroits différents avec des feuilles d'étain ou de plomb un peu épaisses, fit passer une bande plus mince de l'un de ces deux métaux sur les muscles qui se trouvent dans la partie inférieure des articulations communes des feuilles, et sur ceux par l'action desquels les divisions des feuilles et les folioles se ferment. Le lendemain de cette préparation, les feuilles étant épanouies, il fit communiquer les armatures sans l'intermédiaire de la pile, et elles n'éprouvèrent aucune contraction; mais il n'en fut pas de même quand une pile de 50 couples faisait partie du circuit

pendant quelque temps : les feuilles latérales, sur les muscles desquelles passait une petite bande de l'armature, se repliaient souvent à l'instant même où l'on fermait le circuit. Les deux folioles de la plante se fermaient assez fortement deux minutes après que le circuit électrique avait été établi ; celles des feuilles latérales qui n'avaient point été armées restaient immobiles. La pile fonctionnant toujours, les feuilles armées continuaient à se fermer. Ces expériences prouvent que les muscles des feuilles de la *mimosa sensitiva* et de ses folioles sont excitables par l'action du courant électrique, quand il a une certaine énergie.

La *mimosa pudica*, armée de la même manière, a donné les résultats suivants : une minute après que la communication eut été établie avec la pile, les feuilles, surtout celles qui étaient armées, se plièrent sur leurs branches ; ensuite, à différents intervalles, d'autres feuilles çà et là dans plusieurs parties de la plante.

Il paraît donc que la communication des armatures, sans l'intermédiaire de la pile, est insuffisante pour produire les contractions ; que le courant provenant de la pile qui passe par les branches et les feuilles, produit des contractions, lesquelles sont lentes, successives, séparées par des intervalles considérables ; tandis que dans les animaux, comme nous le verrons plus tard, elles sont instantanées et violentes. Cette différence prouve que les muscles et les nerfs dans les animaux sont infiniment plus excitables que les tissus végétaux ; dans ceux-ci, le fluide électrique ne pénètre et ne circule qu'avec peine, et après avoir vaincu une certaine résistance.

Giulio a cherché aussi si de semblables effets n'étaient pas produits dans les plantes où l'irritabilité est moins prononcée que dans les *mimosa sensitiva* et *pudica*, telles que la *mimosa asperata*, par exemple. Il a trouvé, en opérant de la même manière, que l'irritabilité des nœuds, de ses feuilles et de ses folioles, est beaucoup moindre que dans les deux espèces précéden-

tes, et qu'il faut un plus grand intervalle de temps au courant pour y produire des contractions visibles.

L'*hedysarum girans*, ainsi que d'autres plantes remarquables par les mouvements que présentent leurs folioles, n'ont reçu aucune influence de l'action voltaïque.

§ III. *De l'électricité dégagée dans les différents actes de la végétation.*

821. Les liquides qui humectent les tissus ne sont pas tous homogènes; la séve, par exemple, qui n'est pas élaborée par l'action de l'air dans les feuilles, ne jouit pas de la même propriété que celle qui est élaborée. L'hétérogénéité de ces liquides séparés par des cloisons ou des membranes très-minces, donne naissance à des effets électriques particuliers qui peuvent intervenir dans les fonctions vitales. Il existe aussi d'autres liquides qui ne sont pas de même nature, et qui ne conduisent pas l'électricité, tels que les liquides gommeux et huileux. Quand il sera possible d'analyser plus tard tous les phénomènes qui résultent du passage de l'électricité dans les corps organisés, il faudra prendre en considération la nature diverse des liquides qui séjournent dans les plantes. Pour donner une idée des effets électriques produits par l'hétérogénéité des liquides, nous rapporterons les expériences de M. Donné à ce sujet.

Ce jeune physicien ayant plongé les deux extrémités du fil en platine d'un multiplicateur dans un fruit, l'une du côté de la queue, l'autre du côté de l'œil, la déviation de l'aiguille aimantée fut de 15, 20, 25 et quelquefois 30 degrés, suivant l'espèce de fruit. Dans les pommes et les poires, le courant allait de la queue à l'œil, c'est-à-dire que le côté de la queue se comportait comme un alcali, et le côté de l'œil comme un acide. La pêche, l'abricot et les prunes ont donné un courant dirigé en sens inverse; il y avait absence de courant quand il enfonçait les deux extrémités du fil à égale

distance du centre du fruit, perpendiculairement au plan qui passait par l'œil et la queue. Ces courants ne doivent pas être attribués à la présence d'un acide et d'un alcali, mais bien à l'hétérogénéité des parties constituantes des fruits. M. Donné ayant coupé une prune en deux moitiés, dont l'une appartenait à la queue et l'autre à l'œil, il exprima dans deux verres séparés le jus de ces deux moitiés, puis il établit la communication entre les deux liquides au moyen d'une bande de papier mouillé; en y plongeant les deux extrémités du multiplicateur, il eut un courant dirigé de la même manière que dans l'expérience sur le fruit intact. Ce résultat est une conséquence du premier.

822. Une question se présente ici : l'existence de deux liquides hétérogènes dans un fruit, séparés par une ou plusieurs membranes, et jouissant de la propriété, quand ils communiquent au moyen d'un fil de platine, de fournir un courant électrique, suffit-elle pour produire une foule de petits courants électriques par l'intermédiaire de cette membrane? Il est probable qu'il doit en être ainsi, attendu, comme nous l'avons déjà dit à plusieurs reprises, que lorsque deux corps réagissent chimiquement l'un sur l'autre, et qu'ils sont en contact avec un troisième corps, il en résulte des courants partiels. Nous devons ajouter que l'effet de ces courants ne s'étendant pas au delà de la membrane ou des corps conducteurs intermédiaires, les produits formés ne peuvent se déposer que sur ces derniers. Nous reviendrons sur cette question, quand nous nous occuperons de l'influence de l'électricité sur les animaux.

Avant de montrer l'influence qu'exerce l'électricité sur la végétation, soit qu'elle agisse comme force physique ou comme force chimique, il est indispensable de parler des tentatives qui ont été faites pour recueillir de l'électricité dans la germination, et en général dans différents actes de la végétation. On doit en agir toujours ainsi toutes les fois que l'on veut découvrir le rôle que joue l'électricité dans la production d'un phéno-

mène; c'est-à-dire qu'il faut commencer par étudier les effets électriques qui se manifestent dans cette circonstance. Ne perdons pas de vue que le dégagement de l'électricité est toujours un effet qui devient souvent une cause. La végétation est le résultat d'une foule de réactions chimiques qui troublent nécessairement l'équilibre des deux électricités, de sorte qu'il peut se faire qu'une portion de chacune d'elles soit rendue libre. Considérons d'abord ce qui se passe dans la germination : quand une graine se trouve à une température convenable, en présence de l'oxigène et de l'eau, celle-ci commence par délayer les matières contenues dans les cotylédons pour les rendre propres à pénétrer dans la plantule; l'oxigène de l'air que renferme cette eau réagit ensuite sur ces matières pour leur enlever leur carbone, d'où résulte du gaz acide carbonique, qui se dégage. Peu à peu la germination s'opère, et la jeune plante finit par sortir de son enveloppe. L'eau chargée d'acide carbonique ou de substances carbonacées provenant de la décomposition des substances organiques environnantes, pénètre dans les racines, et est transportée avec la séve dans les tiges et les branches, puis dans les parties vertes, où elle éprouve une action telle de la lumière, que l'acide carbonique et les autres substances sont décomposés; le carbone mis à nu sert à l'accroissement du végétal, tandis que l'oxigène est expulsé hors de la plante. Pendant la nuit, au contraire, une partie du carbone accumulé pendant le jour se combine avec l'oxigène que les parties vertes absorbent. L'acide carbonique ainsi formé est ensuite décomposé au jour par la lumière solaire.

Ces mêmes parties vertes absorbent aussi, pendant le jour, de l'acide carbonique qui est également décomposé. Il se passe encore dans les plantes une foule d'autres élaborations secondaires, dont nous ne parlons pas, mais qui concourent toutes à l'effet général. Or, quand on pense que toutes ces actions dégagent de l'électricité, que lorsqu'il y a formation d'acide carbonique, par exemple, l'oxigène à l'instant où il se combine avec le car-

bone, rend libre de l'électricité positive, et le carbone de l'électricité négative, et que des effets contraires sont produits quand le même acide est décomposé; si l'on remarque, en outre, que les deux électricités dégagées dans la réaction de deux corps, quand l'un des corps n'est pas expulsé hors du végétal, se recombinent aussitôt qu'elles sont séparées, en suivant les meilleurs conducteurs qui se trouvent sur leur passage, ne doit-on pas en conclure que l'électricité que l'on peut recueillir, dans les diverses phases de la végétation, provient de causes tellement nombreuses qu'il est bien difficile de déterminer au juste quelles sont celles qui ont eu le plus de part à sa production?

La question du dégagement de l'électricité devient moins complexe, quoiqu'elle présente encore des difficultés, lorsque l'un des corps est chassé du végétal par l'acte de la végétation. Quelques physiciens ont essayé d'en donner une solution, et en particulier M. Pouillet (1) qui a fait, à ce sujet, les expériences suivantes :

Ce physicien ayant pris douze capsules en verre, de 8 à 10 pouces de diamètre, recouvertes entièrement de vernis à la gomme laque, il les plaça sur deux rangs, à côté l'une de l'autre, sur une table de bois recouverte du même vernis. Les ayant remplies de terre végétale, il les fit communiquer toutes ensemble par des fils de métal, qui se rendaient de l'intérieur de l'une dans l'intérieur de l'autre, et il établit aussi la communication entre le plateau supérieur d'un condensateur avec l'une des capsules, tandis que le plateau inférieur communiquait avec le sol; puis il sema dans la terre des capsules diverses graines. Pendant les deux premiers jours les graines se gonflèrent et les germes sortirent de leur enveloppe d'environ une ligne; le condensateur ne donna aucune trace d'électricité. Quand les germes furent sortis de terre, en enlevant le condensateur, l'écartement des lames d'or

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXXV, p. 414.

indiqua la présence de l'électricité négative; cette électricité étant fournie par les capsules, M. Pouillet en a tiré la conséquence que, pendant l'action de l'oxigène de l'air sur les cotylédons, les gaz qui se dégagent emportent l'électricité positive et laissent l'électricité négative à la jeune plante. Quelques heures lui suffirent pour renouveler la même expérience. Le lendemain, les résultats furent sensibles; il en fut de même la nuit, quoique l'action fût différente en raison de l'absence de la lumière. Ainsi donc, que la plante ait été éclairée ou non, que la température ait changé, la terre des capsules a toujours transmis au condensateur l'électricité négative. Cette expérience, suivant M. Pouillet, ne peut bien réussir que par un temps sec, attendu que si le temps est humide, les capsules le deviennent également, et l'électricité dégagée se dissipe dans l'espace. On évite cet inconvénient en répandant une assez grande quantité de chaux vive dans l'appartement où l'on opère. Il a observé que la végétation du blé, des graines de cresson alénois, de giroflée de Mahon, de luzerne, a donné constamment, pendant dix ou douze jours, les mêmes résultats.

Le même physicien a remarqué que, lorsque la végétation est commencée depuis trois ou quatre jours, si l'on met le condensateur en expérience pendant une seconde seulement, il se charge aussitôt. Il a attribué avec raison cet effet à ce que la terre des capsules devenant, en se desséchant, un conducteur imparfait, retient pendant quelques instants une portion de l'électricité dégagée, laquelle électricité sert à charger le condensateur à plusieurs reprises.

Pour interpréter ces résultats, il faut se rappeler que, dans la germination, il se produit un phénomène analogue à celui de la combustion, puisqu'une portion du carbone de la graine se combine avec l'oxigène de l'air : les effets électriques doivent donc être les mêmes dans l'un et l'autre cas : or, nous savons que le charbon, en brûlant, prend l'électricité négative, et l'oxigène l'élec-

tricité positive, qui est transmise à l'acide carbonique; la graine rendra donc libre un excès d'électricité négative, et le gaz acide carbonique un excès d'électricité contraire, qui se combinera immédiatement avec le premier, si le gaz ne sort pas immédiatement de la terre. Mais nous savons que ce gaz, dans les premiers temps de la végétation, reste engagé plus ou moins de temps dans la terre; il doit donc y avoir recomposition des deux fluides dégagés. En général, quand deux corps se combinent ensemble, on ne recueille une portion des deux électricités dégagées qu'autant que l'on trouve le moyen de s'en emparer à l'instant où elles deviennent libres. On ne peut donc avoir, à la rigueur, des signes d'électricité pendant la germination, qu'autant qu'il se dégage, à travers les interstices de la terre, une portion du gaz acide carbonique qui résulte des élaborations produites dans la graine.

L'effet obtenu par M. Pouillet ne peut être attribué qu'à cette cause, si toutefois il n'existe pas d'autres causes productrices de l'électricité. Or, comment se fait-il que, lorsque la jeune plante est complétement développée et que le travail de la germination est achevé, les effets électriques soient les mêmes la nuit que le jour? nous savons cependant qu'ils doivent être différents, puisque dans le jour il y a décomposition de l'acide carbonique absorbé, tandis que pendant la nuit une portion de l'oxigène est transformée en acide carbonique qui est exhalé. Cette objection n'est pas la seule qui tende à infirmer les résultats ci-dessus mentionnés : par exemple, l'évaporation de l'eau qui se trouvait dans la terre des capsules a dû dégager aussi de l'électricité dont la nature dépendait de celle des substances dissoutes; dès lors on reste dans l'incertitude sur la cause productrice de l'électricité qui se trouve accumulée sur le conducteur.

Quant aux racines, elles paraissent jouer un rôle purement passif; leurs spongioles absorbent des matières dont la nature ne dépend pas des besoins de la plante, mais de la faculté dont jouissent les liquides d'être

absorbés. Ceux-ci ne s'infiltrent dans le tissu cellulaire des spongioles qu'en vertu d'effets d'hygroscopicité et de capillarité qui donnent naissance à des effets électriques que nous avons fait connaître, et qui ne doivent pas être pris ici en considération.

Si l'on remarque encore que les débris de corps organiques qui se trouvent dans la terre, se décomposent au contact de l'air et donnent naissance en même temps à de l'acide carbonique et à des effets électriques semblables à ceux de la décarbonisation de la graine, n'est-il pas permis de conclure, de toutes ces observations, que l'électricité recueillie par M. Pouillet n'a pas une origine bien constatée, et qu'il est très-difficile, en général, d'assigner à l'électricité qui est dégagée dans la végétation la véritable cause de sa production?

§ IV. *Tentatives faites pour démontrer l'influence de l'électricité libre sur la germination.*

823. Bertholon et Jalabert ont avancé que les graines électrisées lèvent plus promptement et en plus grand nombre dans un temps donné que celles qui ne le sont pas, et que l'accroissement des plantes électrisées se fait aussi plus promptement. D'un autre côté, plusieurs autres savants, parmi lesquels nous citerons Troots-Witz, Sennebier et M. de Candolle, n'ont aperçu aucune accélération sensible dans la végétation des plantes électrisées. L'influence de l'électricité libre sur la germination est donc encore un point controversé dans la science. Voyons les faits qui sont favorables ou non à l'influence de l'électricité libre sur la germination et la végétation.

824. Ingenhouzs (1) ayant semé des graines de moutarde sur des tranches de liége, épaisses de 3 lignes et enveloppées de papier joseph, qui flottaient sur de l'eau dans un vase, plaça deux de ses petits appareils dans

(1) Journal de Phys., février et décembre 1785, et mai 1788.

des jarres électriques, ou grandes bouteilles de Leyde, et établit une communication métallique entre l'eau des vases et la garniture intérieure des jarres, qu'il électrisa positivement. A mesure que la charge s'affaiblissait, il redonnait de l'électricité à la jarre, de sorte que les semences se trouvaient constamment dans une atmosphère électrique pendant plusieurs jours et plusieurs nuits. Deux autres appareils, préparés de la même manière, ne furent pas électrisés. Les graines germèrent également dans toutes les jarres, qu'elles fussent électrisées ou non, et parvinrent à la hauteur de 3 pouces, sans qu'on pût apercevoir la moindre différence dans leur végétation.

Deux jarres ayant été électrisées intérieurement, l'une positivement et l'autre négativement, la végétation s'y développa au même degré dans l'une et dans l'autre. Ces expériences ayant été variées de diverses manières, conduisirent toujours aux mêmes résultats.

Ingenhouzs se prononça donc en faveur de la non influence de l'électricité libre sur la végétation. Cet habile observateur a cru devoir attribuer les erreurs où sont tombés les physiciens, relativement à l'influence de l'électricité sur les plantes, à ce qu'ils n'ont pas tenu compte de circonstances importantes, telles que la présence d'une lumière plus ou moins vive, de celle de l'eau, etc.

825. Citons maintenant quelques-unes des expériences qui sont en opposition avec celles que nous venons de rapporter.

Carmois (1) ayant pris trois vases cylindriques semblables de fer-blanc, et remplis de la même terre, sema, dans chacun d'eux, trois grains de froment tirés du même épi. Deux de ces vases furent placés, comme l'avait fait Ingenhouzs, dans deux jarres électriques isolées, l'une possédant intérieurement de l'électricité positive, l'autre de l'électricité négative. Il eut l'attention également de re-

(1) Journal de Phys., t. XXXIII.

de disques, pendant 5 jours (1), une feuille de laurier, cette feuille prit la même apparence que si elle avait été exposée à une température de 5 à 600 degrés Fahrenheit. Elle devint brune et grillée; la matière colorante verte, ainsi que la résine, l'alcali et la chaux, avaient été transportés du côté négatif, tandis que le vase positif renfermait un liquide clair, ayant l'odeur de la fleur de pêcher, et qui, neutralisé par la potasse, et essayé par la solution de sulfate de fer, donna la réaction propre à l'acide hydrocyanique.

Ayant employé une plante de menthe, dans un état vigoureux de végétation, comme moyen de communication entre les deux extrémités d'une batterie en contact avec de l'eau pure, Davy trouva, 10 minutes après, dans l'eau électrisée négativement, de la potasse et de la chaux, et dans l'eau électrisée positivement une substance acide, qui précipitait par les solutions de chlorure de barium, de calcium et de nitrate d'argent. Après cette expérience, la plante reprit son état ordinaire; mais il n'en fut pas de même après qu'elle eut été exposée à l'action de la même batterie pendant quatre heures, elle se flétrit et mourut. Ces faits prouvent donc que les pouvoirs électriques de décomposition agissent sur les plantes vivantes comme sur les corps inorganiques, c'est-à-dire, qu'ils peuvent vaincre l'action des forces vitales comme celle des affinités, pour transporter aux extrémités de la pile les principes électro-positifs ou électro-négatifs.

827. On peut employer l'action des courants comme moyen d'analyse chimique, à l'égard de la coque du Levant, comme l'ont fait MM. Pelletier et Couerbe (2), pour déterminer les principes immédiats des substances végétales. Ces deux chimistes, voulant étudier les propriétés de la picrotoxine, un de ses principes constituants, ont commencé par chercher si ce corps, dans sa

(1) Annal. de Chim., t. LXIII. p. 260 et suiv.
(2) Annal. de Ch. et de Phys., t. LIV. p. 178.

combinaison avec les alcalis, se comportait comme un acide. A cet effet, ils ont soumis une solution de picrotoxate de potasse à l'action d'une pile de trente éléments. Après une demi-heure d'expérience, la picrotoxine s'est montrée au pôle positif, sous forme d'une belle cristallisation en aiguilles, tandis que la partie de l'appareil qui correspondait au pôle négatif, ne contenait plus que de la potasse en solution dépouillée de toute amertume. Il est prouvé par là que réellement, dans la combinaison avec les alcalis, la pirotoxine joue le rôle d'acide. MM. Pelletier et Couerbe ont cherché encore si la picrotoxine, comparée aux diverses matières organiques, devait sortir du rang des alcaloïdes pour être classée parmi les acides organiques. Pour résoudre cette question, ils ont examiné l'action de la picrotoxine sur les bases salifiables végétales. Ils ont en conséquence soumis à l'action d'une pile formée de 80 paires de plaques, dans un tube recourbé en V, une solution de picrotoxate de brucine. Celle-ci a été promptement décomposée; la picrotoxine s'est rendue au pôle positif et y a formé une belle cristallisation radiée, tandis que la brucine s'est déposée au pôle négatif en cristaux grenus. En outre, la couleur brune que la brucine prend au contact de l'acide nitrique concentré s'est aussi développée sous l'action du courant au pôle positif. Ce fait, que l'on peut reproduire en agissant sur la brucine seule comme sur les sels, est indiqué par eux comme un moyen de distinguer la brucine de la morphine, qui rougit par l'acide nitrique et non par la pile. La combinaison de la picrotoxine avec les autres alcalis végétaux donne les mêmes résultats. On voit donc qu'au moyen de l'électricité voltaïque on prouve que la picrotoxine joue le rôle d'un acide dans les circonstances où nous la considérons. Pour savoir dans quel état les alcalis organiques existent dans les végétaux, et s'ils s'y trouvent tout formés et combinés avec les acides, ou bien s'ils n'y sont pas tout formés, ils ont soumis à l'action de la pile une solution d'opium; à l'instant même des flocons nombreux se sont agglomérés en

petites masses grenues au pôle négatif, et des flocons plus rares et plus légers au pôle positif. La matière rassemblée au pôle négatif ayant été dissoute dans l'alcool et la liqueur évaporée spontanément, on a obtenu des cristaux brillants de morphine pure, reconnaissable à tous ses caractères. La matière rassemblée au pôle positif, d'un blanc jaunâtre, rougissant le tournesol et les solutions de peroxide de fer, possédait tous les caractères propres à l'acide méconique. Comme, dans cette expérience, on n'a employé ni acide ni alcali, on a dû en conclure que la morphine existait toute formée dans l'opium. Il est hors de doute que l'on peut se servir du même moyen pour découvrir, dans les substances animales et végétales, la nature des principes immédiats qu'elles renferment.

828. Dans les expériences précédentes, on a employé des forces électriques d'une certaine énergie; mais on peut arriver aussi à retirer des mêmes substances quelques-uns de leurs principes constituants, en se servant seulement d'un seul couple voltaïque, dont l'action, convenablement dirigée, possède une grande force. Lorsqu'un disque cuivre-zinc est plongé dans de l'eau distillée, l'altération du dernier métal est très-lente et le courant électrique qui en résulte peu énergique. La mauvaise conductibilité de l'eau contribue encore à atténuer la force du courant. Supposons que ce disque soit placé horizontalement, sur un petit support vertical en verre, dans un vase rempli d'eau distillée, la face cuivre en dessus et la face zinc en dessous. Plaçons sur la première une bande de papier joseph, sur laquelle on répand de l'amidon; douze heures après, du papier tournesol faiblement rougi par les acides, est ramené au bleu quand on le met en contact avec l'amidon. En continuant l'expérience et recherchant l'alcali qui est transporté au pôle négatif, on trouve que c'est de la soude seule sans potasse. Il est facile de montrer comment il se fait que des forces qui paraissent aussi faibles pendant l'oxidation du zinc, soient suffisantes pour opérer en partie la

décomposition de l'amidon et en retirer de l'alcali. Cette substance éprouve, comme on sait, au contact de l'air, des changements qui rendent momentanément à ses éléments les états électriques qui leur sont propres ; ces éléments se trouvent par conséquent dans une circonstance favorable pour obéir à l'action du couple voltaïque, qui tend à décomposer les corps soumis à son influence. Dès lors l'alcali renfermé dans l'amidon est transporté sur le cuivre et l'élément électro-négatif sur la face zinc.

829. On opérant avec de la gomme arabique au lieu de fécule, on trouve encore, après 12 heures d'expériences, sur la face cuivre, de l'alcali. L'eau de gomme éprouve, à la vérité, une altération excessivement faible de la part de l'eau et de l'air, mais il est présumable que cette altération doit augmenter quand elle se trouve sous l'influence d'un courant électrique.

830. De l'opium du commerce qui rougit, comme on sait, le papier tournesol, placé sur la face cuivre, avec une petite quantité de sucre, pour déterminer la fermentation, donne également la réaction alcaline.

Ces faits prouvent que des courants électriques, provenant d'un seul couple voltaïque, réagissent sur les substances végétales, de manière à isoler quelques-unes de leurs parties constituantes, surtout quand elles se trouvent dans un état de fermentation ou de décomposition qui rend momentanément à leurs parties leurs facultés électriques propres. C'est dans ce mode d'action que l'on peut trouver le secret de l'influence que peuvent exercer les courants électriques sur la germination et les autres actes de la végétation.

§ VI. *Application des principes précédents à la germination des graines et à la nutrition des jeunes plantes.*

831. Les graines que nous avons soumises à l'expé-

rience sont celles qui renferment, sous leur test, une matière amylacée qui se change peu à peu en sucre par l'action de la germination pour la nourriture de l'embryon. Ces graines placées sur la face cuivre d'un couple voltaïque, doivent éprouver, de la part du courant, des effets semblables à ceux que nous avons reconnus dans la gomme et le sucre, lesquels doivent modifier la végétation d'une manière quelconque. Voici la disposition qui nous a paru la plus convenable pour faire l'expérience : on place horizontalement, dans deux verres, deux couples voltaïques cuivre et zinc, de telle sorte que dans l'un le côté zinc soit en dessus et dans l'autre le côté cuivre. Ces deux disques sont fixés chacun avec du mastic à l'extrémité d'une tige de verre verticale mastiquée elle-même au fond du vase. Leur surface est recouverte d'un lit de coton très-mince sur lequel on place les graines, puis on verse dans les verres assez d'eau pour que le coton et les graines soient humectés, et l'on a l'attention ensuite de remplacer de temps à autre l'eau qui s'évapore. Comme point de comparaison, on dispose de la même manière une lame de verre. Supposons qu'on ait semé des graines de cresson alénois sur ces trois plans, et que l'on n'ait employé que de l'eau distillée, afin d'éviter les réactions chimiques sur les graines, des parties constituantes des sels dissous dans l'eau qui ont été séparées par l'action voltaïque. Deux ou trois jours après, les radicules paraissent à peu près en même temps sur les trois appareils; mais la végétation ne continue pas ensuite avec la même force sur chacun d'eux. Elle se montre un peu plus forte sur la face cuivre que sur le verre, tandis que sur la face zinc les radicules se contournent, se dessèchent peu à peu, et les tiges cessent de prendre de l'accroissement. Ainsi sur la face cuivre tout annonce de la vigueur et de la force, tandis que sur la face zinc on y remarque un état de faiblesse et de malaise qui finit par la cessation de la vie. En substituant à la graine de cresson alénois des pois ordinaires, *pisum sativum*, on

observe des effets semblables, ainsi qu'avec d'autres graines. Analysons le phénomène.

832. Une bande de papier tournesol, faiblement rougi par un acide, est ramenée au bleu quand on la met en contact avec le coton de la face négative; l'alcali ne peut donc provenir que de la graine, puisque l'on a eu le soin de n'employer que de l'eau distillée.

Au lieu d'eau distillée, si l'on prend de l'eau de Seine, ou de l'eau rendue légèrement conductrice par l'addition d'un sel, les effets précédents deviennent encore plus sensibles, surtout avec les pois. Nous voyons par là qu'en faisant germer des graines sous l'influence de forces électriques faibles, l'action du pôle négatif active la nutrition, et celle du pôle positif la diminue, jusqu'au point de la faire cesser. Quoiqu'il soit difficile de constater avec exactitude, dans cette circonstance, en quoi consiste l'action de chaque pôle, cependant on aperçoit des effets généraux sur l'origine desquels on ne peut se méprendre.

833. Nous avons commencé par rechercher si les signes d'alcalinéité, trouvés sur la face cuivre, n'étaient pas dus par hasard à de très-petites quantités d'alcali que l'action prolongée du couple voltaïque aurait pu retirer du verre.

Pour savoir à quoi nous en tenir, à cet égard, nous avons opéré avec des vases d'or ou de platine, et nous avons posé à nu les graines sur la face cuivre. Les effets ont été encore les mêmes. L'alcali trouvé dans les premières expériences provenait donc de la matière amylacée de la graine, laquelle a été retirée par l'action du courant pendant l'acte de la germination. Il est plus facile de concevoir l'enlèvement de l'alcali dans la germination que dans la décomposition lente de l'amidon à l'air, attendu que la première marchant plus rapidement que la seconde, ses éléments se trouvent dans un état électrique plus marqué, ce qui leur permet d'obéir mieux à l'action du courant électrique.

Au lieu de couples cuivre et zinc soudés suivant une de leurs faces, on peut employer deux lames de ces deux métaux soudées bout à bout. Cette disposition a l'avantage de pouvoir opérer dans le même vase sur la face positive et sur la face négative.

En expérimentant sur des lames de cuivre et de zinc non soudées, les effets sont inverses, c'est-à-dire, que la végétation est ralentie sur le cuivre, tandis qu'elle suit son cours ordinaire sur la face zinc.

834. Pour savoir jusqu'à quel point les substances transportées sur les faces négative et positive influent sur la végétation, nous rapportons l'analyse de l'eau de Seine, dans laquelle avaient été placés, pendant un mois, deux couples voltaïques dont les faces supérieures étaient recouvertes de graines de cresson alénois, afin de savoir si les corps dissous dans cette eau avaient influé sur la végétation. Cent parties de cette eau ont donné,

Oxide de zinc..........	0,0005
Acide hydrochlorique.....	0,0007
Soude................	0,0002
Eau..................	99,9986

Les parties accidentelles que l'analyse a trouvées dans cette eau, sont en si petite quantité, qu'il n'est pas probable qu'elles aient pu agir sensiblement sur les jeunes plantes.

Nous ne nous sommes pas borné à examiner la nature du liquide dans lequel les disques étaient plongés; nous avons voulu voir si le coton, sur lequel reposaient les graines, ne renfermait pas une partie des produits formés sous l'influence des courants. Le coton de la face cuivre, lavé dans de l'eau distillée, a donné, outre les sels trouvés dans l'eau, une petite quantité de soude. Celui de la face zinc n'a rien offert de particulier.

835. Nous avons maintenant les données nécessaires pour expliquer quelques-uns des effets généraux qui sont produits par l'action de chaque pôle sur les graines

ou les plantes. Prenons la face négative sur laquelle se rendent l'hydrogène et les bases, et rappelons-nous que la potasse, la soude, et même l'ammoniaque, qui se forme aux dépens de l'hydrogène de l'eau et de l'azote de l'air, employées à faibles doses, activent la végétation. Cette face conserve en outre l'oxigène de l'air, dont la graine s'empare pendant la germination et l'élaboration des liquides qui sont absorbés par les racines. Il n'en est pas de même sur la face zinc; l'oxigène qui adhère au métal se combine avec lui, en raison de son état positif. La graine et la plante s'en trouvent donç privées; de plus l'acide qui s'y rend réagit sur le zinc et donne naissance à un sel métallique qui altère la graine. L'action du pôle positif tendant aussi à enlever à la graine son oxigène, agit par conséquent en sens inverse de celle des forces vitales.

836. On a pris plusieurs couples voltaïques ordinaires carrés d'environ 6 ou 7 centimètres de côté, percés de part en part de trous circulaires, ayant 4 à 5 millimètres de diamètre. Ces ouvertures ont été tamponnées avec du coton, et les bords des disques entourés de lames de verre. Les couples ont été plongés dans de l'eau, les uns le côté cuivre en dessus, les autres le côté zinc; des lames de verre mastiquées sur les côtés empêchaient que le liquide du vase ne communiquât directement avec celui qui mouillait le coton, de sorte que les courants étaient transmis de l'intérieur à l'extérieur, ou de l'extérieur à l'intérieur, par l'intermédiaire des tampons de coton. Cet arrangement avait l'avantage de distribuer uniformément les courants sur toute l'étendue des surfaces, tandis qu'en opérant avec des plaques sans préparation, comme dans les expériences précédentes, l'action électro-chimique avait lieu particulièrement sur les bords. Du reste, les effets ont été les mêmes que ceux qui ont été précédemment décrits.

837. L'action du pôle négatif est également marquée sur des bulbes convenablement disposées, comme celles de jacinthe. Voici les deux modes d'expérimentation qui

nous ont paru les plus simples : on forme un cadre avec quatre petites lames de cuivre que l'on incline, sur lequel on place la bulbe, de manière que la couronne qui environne les racines soit immédiatement en contact avec le métal. On dispose également un autre cadre avec quatre lames de zinc, sur lequel on place une autre bulbe semblable à la première. Ces cadres sont adaptés à des supports dans un vase rempli d'eau, contenant un millième de son poids de sel marin, et mis ensuite en communication au moyen d'un fil de cuivre. A côté, on dispose deux autres cadres formés avec des petits tubes de verre, sur lesquels on pose deux bulbes semblables; le tout est abandonné aux actions électro-chimiques et aux actions spontanées, en ayant l'attention de temps à autre de nettoyer les cadres métalliques et d'ajouter de l'eau pour remplacer celle qui s'évapore. Au bout de quelques jours, on commence à voir que la bulbe qui est en contact avec le cadre négatif prend l'avance sur les autres, tandis que celle qui repose sur le cadre positif est sensiblement en arrière.

Au lieu de placer les bulbes sur des petits cadres métalliques, on peut envelopper les unes d'une feuille d'étain et les autres d'une feuille de platine, en laissant à découvert les parties par lesquelles sortent les racines et la tige. Les bulbes ainsi préparées sont placées, après qu'on a mis en communication les deux métaux, sur des supports de verre, dans de l'eau renfermant une très-petite quantité de sel marin. En opérant sur des bulbes de crocus qui avaient été recouvertes de feuilles de clinquant au lieu de feuilles d'étain, les racines et les feuilles ont été atrophiées, les fleurs seules ont paru. La couronne d'où partent ordinairement les racines avait été désorganisée et l'on n'apercevait plus que des cicatrices.

838. Si l'action d'un seul couple voltaïque est suffisante pour retirer des graines ou des plantes les alcalis qu'elles renferment, il est probable qu'elle leur enlève aussi d'autres éléments, dont il est bien difficile de constater la nature. Cette soustraction d'éléments doit influer

d'une manière quelconque sur le développement des organes et sur la nutrition de la plante.

839. Quant aux effets inverses produits sur les lames de zinc et de cuivre non soudées, il est facile de s'en rendre compte : le zinc, au contact de l'eau, s'oxide, mais moins que lorsqu'il est en contact avec le cuivre; absorbant moins d'oxigène, il est naturel que la végétation s'y développe mieux que lorsque ce métal est en contact avec le cuivre. Le cuivre, au contraire, ne se trouvant plus dans un état négatif, s'oxide, faiblement à la vérité; mais comme ses produits sont nuisibles à la végétation, il s'ensuit que les racines qui reposent dessus sont exposées à des actions tout à fait différentes de celles qu'elles éprouvent quand ce métal est en communication avec le zinc.

840. Il nous est impossible d'en dire davantage touchant l'action des faibles courants électriques sur la germination; mais nous pensons que les faits que nous venons d'exposer seront pris en considération par les physiciens qui voudront appliquer l'électricité à la physiologie en général.

§ VII. *Effets de l'électricité voltaïque à forte tension sur la germination et la végétation.*

841. Davy est le premier qui ait étudié l'action de l'électricité voltaïque à forte tension sur la germination. Nous rapportons ici textuellement le passage de ses Éléments de chimie agricole (1), dans lequel il fait connaître ses vues et ses observations à cet égard :

« Des variations électriques ont constamment lieu à « la surface de la terre et au sein de l'atmosphère, mais « on n'a pas encore bien examiné l'influence qu'elles « exercent sur les végétaux. Des expériences faites au « moyen de la pile voltaïque ont démontré que les com-

(1) Tome Ier, p. 44. Traduction française.

« posés peuvent, en général, être réduits par le fluide « qu'elle développe. Il est probable que les divers phé- « nomènes électriques qui se succèdent dans la nature, « influent sur la germination des graines et l'accroisse- « ment des plantes. Je me suis assuré que le blé germe « beaucoup plus vite dans l'eau électrisee positivement « que dans celle qui contient le principe opposé. On a « reconnu que les nues sont habituellement négatives, et « comme, dès qu'un nuage est dans un état, la partie de « la terre située au-dessous est dans un état opposé, il « est probable que le globe est communément positif.

« . . . .

« Les forces électriques agissent continuellement sur la « matière; elles en changent les formes et donnent nais- « sance à des combinaisons appropriées aux besoins de « la vie. »

Ces considérations sont certainement d'un grand intérêt; mais les faits sur lesquels elles reposent ne sont pas exacts, surtout ce qui concerne l'état électrique des nuages qui est tantôt positif, tantôt négatif. Si ce grand chimiste a trouvé que la germination se développait plus vite du côté positif que du côté négatif, cet effet ne pouvait provenir que de ce que la graine était constamment entourée d'une atmosphère d'oxigène sans acide; mais il est probable que s'il eût continué longtemps l'expérience, des effets contraires eussent été produits. Les expériences suivantes ne laissent aucun doute à cet égard.

842. 1re Expérience. Deux capsules d'argent, renfermant de l'eau distillée, ont été mises en communication au moyen d'une mèche de coton bien lavée, d'environ 4 centimètres de longueur; on a placé au fond un lit de coton, sur lequel on a semé des graines de cresson alénois, et l'on a mis en relation les deux capsules avec les extrémités d'une pile formée de 30 éléments, chargée avec une dissolution légère de sel marin, faiblement acidulée avec l'acide sulfurique. La germination a eu lieu dans la capsule négative seulement, et les jeunes plantes se

sont élevées d'un centimètre dans l'espace de 15 jours. Dans l'autre capsule, la germination ne s'est pas montrée : les graines, après avoir pris une teinte violette foncée, ont été désorganisées entièrement. Cette couleur indique assez qu'il s'est formé de l'acide nitrique par suite de la réaction de l'oxigène transporté au pôle positif sur l'azote de l'air ou des matières organiques qui se trouvaient dans l'eau, lequel acide, en réagissant sur l'argent, a produit du nitrate d'argent qui a désorganisé les graines. Cette réaction est tellement marquée qu'elle peut servir à constater la présence de l'acide nitrique dans les phénomènes électro-chimiques. Cette expérience montre suffisamment l'influence sur la végétation des produits formés pendant l'action chimique de la pile sur les plantes, quand l'eau n'est pas parfaitement pure.

843. 2ᵉ Expérience. Deux capsules d'or ou de platine ont été disposées comme dans l'expérience précédente; seulement on a placé entre elles une capsule de porcelaine dans laquelle se trouvaient également du coton et des graines, et, au lieu d'eau distillée, on a mis de l'eau de Seine. Dans la capsule négative, la germination et la végétation se sont développées à peu près sensiblement comme dans la capsule de porcelaine; dans l'autre capsule, la germination a été lente et la végétation en grande partie atrophiée. L'eau de la capsule positive a donné la réaction de l'acide sulfurique; celle de la capsule négative, la réaction de la chaux. La présence de ces corps dans les deux liquides suffit pour donner l'explication des effets produits. Si à l'époque où l'on commence à s'apercevoir que la germination est en partie suspendue du côté positif, on interrompt la communication avec la pile, alors le développement de la jeune plante continue à s'effectuer dans la capsule négative là où la chaux a été transportée, tandis que dans l'autre la graine est détruite par suite de l'action continue qu'exerce sur elle l'acide sulfurique. Dans la première, la chaux, en

se combinant avec l'acide carbonique de l'air, finit par ne plus exercer aucune action sur la végétation. Cette expérience prouve que l'emploi des fortes piles voltaïques est nuisible à la végétation; car, si au pôle négatif l'alcali concourt à activer l'action des forces vitales, il en résulte un effet contraire quand il est en quantité suffisante pour désorganiser les racines.

§ VIII. *La graine et la plante se comportent comme le pôle négatif d'un appareil voltaïque.*

844. Les graines, avons-nous dit, exigent pour germer trois conditions indispensables, de l'eau, de l'oxigène et de la chaleur. L'eau délaie les matières contenues dans la graine et les rend propres à être transportées dans les diverses parties de la plantule; l'oxigène enlève une portion du carbone de la matière amylacée pour la faire passer à l'état de gomme et de sucre: la quantité qui disparaît se retrouve dans l'air ou dans l'eau. La chaleur agit enfin comme excitant. Le travail de la germination étant très-complexe, les effets électriques qui en résultent doivent l'être également. Nous voyons bien une décarbonisation de la graine, mais celle-ci laisse-t-elle échapper d'autres corps que l'acide carbonique? Examinons ce point pour savoir si la graine ne se comporterait pas comme le pôle négatif d'une pile qui attire les bases et chasse les acides.

Pour reconnaître si réellement il sort de la graine pendant la germination un acide autre que l'acide carbonique, il faut s'emparer de cet acide aussitôt qu'il devient libre et avant qu'il ait pu réagir sur les corps avec lesquels il se trouve en contact. Nous nous sommes servi à cet effet de deux moyens; le premier consiste à prendre des bandes de papier tournesol que l'on applique sur les parois intérieures de verres à pattes dans lesquels on place les graines avec une quantité d'eau suffisante pour qu'elles puissent germer. Celles que nous

avons soumises à l'expérience ont coloré plus ou moins en rouge le papier tournesol après un temps plus ou moins long qui dépendait du travail de la germination.

Voici les résultats que nous avons obtenus sur un certain nombre de graines :

GRAMINÉES	Froment	la coloration commence au bout d'une heure ; douze heures après elle est bien prononcée.	
	Seigle	un peu moins.	
	Orge	action intermédiaire entre les précédents.	
	Avoine	action semblable à celle du seigle.	
LÉGUMINEUSES	Lentille, Pois, Haricots, Pois de senteur	la réaction ne commence qu'au bout de 90 heures.	la coloration est bien prononcée.
	Trèfle, Luzerne	la réaction commence assez promptement.	
CRUCIFÈRES	Moutarde blanche, Moutarde noire, Cresson alenois, Navet, Chou, Giroflée	la coloration commence assez promptement ; au bout de douze heures elle est très-prononcée.	
CHICORACÉES	Plusieurs espèces de laitue	coloration prononcée.	
OMBELLIFÈRES	Carotte, Persil	au bout de vingt-quatre heures coloration assez faible.	
CONIFÈRES	Pin, Sapin	coloration très-forte.	
CUCURBITACÉES	Melon	coloration bien prononcée.	
LINÉES	Lin	coloration bien prononcée.	

Après vingt-quatre heures, les graines de poireau, d'oignon et de betterave n'avaient pas modifié sensiblement la couleur bleue, mais au bout de quatre jours la coloration en rouge a commencé. Les tubercules de pomme de terre et d'anémone posés sur du coton humide et en contact avec du papier tournesol ont coloré celui-ci légèrement en rouge ; les bulbes d'iris l'ont coloré fortement. Les expériences ont été faites à une température de 8° Réaumur.

La réaction a également lieu, mais d'une manière moins sensible, lorsque les bulbes ont de fortes racines.

845. Nous avons reconnu aussi que les bourgeons, que l'on considère comme formés de germes semblables à ceux des embryons, présentent le même phénomène. Des bandes de papier tournesol ont été placées entre les jeunes feuilles de bourgeons de peuplier de la Caroline et du lac Ontario, de lilas, d'alisier, etc. La couleur bleue a d'abord pâli par suite de l'action de la lumière et de celle de l'oxigène; dans l'espace de quatre ou cinq jours elle est devenue lilas, puis rose pâle, et ensuite rouge. Les feuilles de plusieurs plantes, particulièrement celles de fèves de marais, ont donné aussi la réaction acide. On voit donc d'après cela que les graines, quand elles germent, les bourgeons, les feuilles et les racines jouissent de la propriété plus ou moins marquée d'expulser un acide. Cet acide est-il le même pour toutes les graines, les bulbes, etc.? c'est ce que nous ignorons. Nous avons essayé d'abord si par hasard l'acide acétique ne se présenterait pas souvent dans la germination. Nous avons fait germer, en conséquence, des graines de lentille et de navet qui donnent la réaction acide bien marquée sur du protoxide hydraté de plomb légèrement humecté, ou bien sur du deutoxide de cuivre ou du carbonate de chaux. Trente-six heures après, l'oxide et les graines ont été lavés à plusieurs reprises avec de l'eau distillée, puis on a filtré et fait cristalliser. Des cristaux en aiguille se sont formés, lesquels, traités par la chaleur et l'acide sulfurique, ont donné la réaction propre à l'acide acétique. Des bulbes de tubéreuses ont fourni le même acide.

846. Pour savoir jusqu'à quel point les diverses parties des graines concourent à la production de cet acide, nous avons soumis au même mode d'expérimentation la fécule de pommes de terre, la dextrine et la gomme. Les deux premières substances ont donné promptement la réaction acide. Ne pourrait-on pas en conclure que la matière amylacée dans les cotylédons des légumineuses et d'autres graines éprouve, lors de la germination, des

changements qui ont de l'analogie avec ceux que l'on observe dans la fécule au contact de l'air? Nous ne le pensons pas, attendu que la même réaction acide se produit dans les bulbes et les graines qui ne renferment pas ou peu d'amidon; il faut donc admettre dans la germination, et en général dans l'acte de la végétation, une cause générale tenant à la vitalité, force dont la nature nous est inconnue, qui donne naissance à l'acide acétique. La présence de cet acide dans le règne végétal, ainsi que dans la sueur de l'homme, ne semble-t-elle pas indiquer quelque analogie dans le mode de formation des excrétions?

847. Nous voyons maintenant pourquoi les acides nuisent à la végétation, tandis que les alcalis favorisent son développement : de toutes parts, il y a expulsion d'un acide quand une plante végète; si donc vous lui présentez un acide, vous devez contrarier l'action vitale, tandis que si vous la mettez en contact avec un alcali, non-seulement ce corps neutralise l'acide qui est expulsé, mais encore, lorsqu'il est absorbé par les racines, il sympathise avec les organes qui, dans l'acte de la végétation, s'emparent des bases.

848. Nous pouvons maintenant nous rendre compte de l'action de l'électricité voltaïque sur la germination.

Quand la graine est placée au pôle négatif, l'alcali, transporté par l'action du courant, sature naturellement l'acide expulsé, lequel, en réagissant sur elle, devait ralentir la germination. Elle se trouve en outre dans l'état le plus favorable pour germer, puisque, d'après les faits précédents, elle se comporte comme le pôle négatif d'une pile; bien entendu que cet effet a une limite; car, si la pile a une action énergique, elle prive la graine d'oxigène et la désorganise entièrement: si celle-ci est placée du côté positif, elle se trouve dans un état opposé à celui dans lequel elle est pendant la germination. Ces deux effets peuvent être comparés, jusqu'à un certain point, à ceux que l'on obtient quand,

voulant augmenter ou diminuer l'oxidation d'un métal par l'action de l'eau, on le met en contact avec un autre métal moins ou plus oxidable que lui.

§ IX. *De l'action présumée de l'électricité atmosphérique sur les végétaux en général.*

845. Les faits que nous avons exposés dans les paragraphes précédents ont suffisamment prouvé que les graines et les végétaux peuvent être assimilés, jusqu'à un certain point, au pôle négatif d'un appareil voltaïque, puisque, par l'effet des forces vitales, dont nous ignorons la nature, ils expulsent les acides et retiennent les bases. Très-certainement on ne doit pas supposer que les plantes forment chacune un appareil électrique; mais il y a des raisons pour croire qu'il pourrait bien se faire qu'en vertu des diverses élaborations qui s'opèrent continuellement dans leurs organes, il existât un certain nombre de ces petits appareils dont l'action cesse dès l'instant que la vie s'éteint. S'il en est ainsi on conçoit qu'en se servant d'un appareil électrique on puisse réagir sur certains organes des plantes de manière à contrarier ou à favoriser l'action des forces vitales.

850. Un végétal, comme nous l'avons vu, pouvant être assimilé au pôle négatif d'un appareil voltaïque, il faut disposer les choses, quand on le soumet à l'action de l'électricité, dans le but de favoriser celle des forces vitales, de manière à accroître son état négatif. Pour remplir ce but, il faut avoir recours au mode d'action chimique de l'électricité libre. Prenons une bande de papier tournesol et une autre de curcuma, humectées d'une solution de sulfate de soude et unies par un de leurs bouts; si un fil de métal, communiquant avec le conducteur d'une machine électrique qui fournit de l'électricité positive, est mis en communication avec le papier tournesol, et qu'un autre fil de métal, communiquant au sol, soit mis en rapport avec le papier de curcuma, quelques tours de

la machine suffisent pour montrer que les papiers à réactif éprouvent les mêmes effets de coloration que ceux qui sont produits par la pile. Si l'on enlève la pointe négative de l'appareil et le papier de curcuma, en laissant le conducteur positif en contact avec le papier de tournesol, et que l'on touche ce dernier avec un conducteur humide que l'on tient à la main, le sel est encore décomposé. Le résultat est encore le même quand le bout du fil humecté, au lieu d'être tenu dans la main, est suspendu dans l'air au moyen d'un tube de verre : on retrouve toujours de l'acide à la pointe positive. Cette expérience prouve que l'élement électro-positif se réfugie vers l'autre extrémité du corps soumis à l'action de l'électricité, de sorte que l'air agit ici comme un pôle. Nous devons encore à M. Faraday, qui a obtenu ces résultats, d'autres observations d'un grand intérêt, qui ont ici une application immédiate : il a produit des décompositions sans employer des conducteurs métalliques; dans ce cas, les deux poles sont formés par l'air seulement. On prend à cet effet un morceau de papier de curcuma et un morceau de papier tournesol taillés en pointe et trempés l'un et l'autre dans une solution de sulfate de soude; puis on les met en contact par une de leurs pointes, tandis que les deux autres pointes sont placées à peu de distance de deux conducteurs métalliqeus, l'un en communication avec le conducteur de la machine et l'autre avec la terre. Il suffit de tourner la machine pendant quelques instants pour obtenir des traces de décomposition. La pointe du papier tournesol qui se trouve en présence du conducteur positif, manifeste la réaction acide, et la pointe du papier de curcuma en présence de l'autre conducteur la réaction alcaline. En considérant les deux bandes de papier comme constituant un conducteur indépendant de la machine, on voit que l'acide se manifeste à l'extrémité négative et l'alcali à l'extrémite posi ive. Cet effet est facile à expliquer : dès l'instant que l'électricité positive débouche dans le liquide, elle emporte avec

elle l'alcali qui exerce sa réaction aussitôt qu'il atteint le papier de curcuma. L'électricité négative agit de même par rapport à l'acide.

851. Les expériences que nous venons de rapporter sont, sans aucun doute, d'une grande importance pour concevoir le mode d'action que l'électricité atmosphérique peut exercer sur les corps renfermant des liquides, qui se trouvent sur la surface de la terre. Nous avons démontré que l'atmosphère et la terre se trouvent toujours, dans les temps sereins, dans deux états électriques différents, et qu'il s'opère continuellement entre elles des décharges électriques plus ou moins fortes, lesquelles s'effectuent par l'intermédiaire des montagnes, des plantes et des animaux. Dès lors les corps organisés se trouvent dans les mêmes circonstances que le papier tournesol et le papier de curcuma dans l'expérience précédente; et les mêmes effets doivent être reproduits: il en résulte une suite de décompositions et de recompositions chimiques qui contrarient ou favorisent l'action des forces vitales, suivant le sens dans lequel elles s'exercent. On ne doit pas considérer ce que nous avançons là comme une conjecture, c'est une conséquence rigoureuse de faits bien établis; ainsi nous regardons comme démontré que l'électricité atmosphérique exerce une influence électro-chimique sur tous les corps organisés, quoiqu'il soit impossible, dans l'état actuel de la science, de prévoir tous les effets produits. Cependant on conçoit le mode d'action qu'elle exerce en général.

852. Dans l'état habituel de l'atmosphère, l'électricité qui s'y trouve est ordinairement positive; il faut donc que les corps organisés qui la transmettent à la terre manifestent à leur surface la réaction acide. S'il s'agit des plantes, ce sont les feuilles; par conséquent elles doivent exhaler l'oxigène et les acides: or cet effet est également produit par l'action de la lumière solaire; il en résulte que l'action de l'électricité atmosphérique, lorsque le temps est serein, tend à favoriser l'action des forces vitales en ce qui concerne les execrétions. Quant

aux racines, qui absorbent les liquides par suite d'effets hygroscopiques, il en résulte des actions particulières dont nous n'avons pas à nous occuper.

§ X. *De l'endosmose et de l'exosmose, considérés dans leurs rapports avec les effets de transport de l'électricité agissant comme force mécanique.*

Les phénomènes d'endosmose et d'exosmose intéressent à un haut degré la physiologie, puisqu'il est hors de doute qu'ils se manifestent dans tous les corps organisés pénétrés d'humidité ayant vie ou non. On a avancé que l'électricité était une des causes qui contribuaient à leur production. C'est donc un motif pour nous d'examiner jusqu'à quel point cette assertion est fondée.

853. Lorsque deux liquides hétérogènes sont séparés par une cloison à pores capillaires, ils marchent inégalement l'un vers l'autre en traversant ces pores. Il résulte de cette inégalité, que l'un des deux liquides reçoit de son voisin plus qu'il ne donne, en sorte que son volume s'augmente sans cesse aux dépens du volume de l'autre. Il existe donc par conséquent deux courants, dont l'un est plus fort que l'autre : le premier est appelé *endosmose* et le second *exosmose*. L'appareil destiné à produire le phénomène est appelé *endosmomètre ;* il est formé d'un tube de verre, terminé d'un côté par un large évasement dont l'ouverture est bouchée avec un morceau de vessie, fixé solidement au moyen d'une ligature. La cavité de l'évasement qui est remplie avec le liquide dont on veut éprouver la force d'endosmose, plonge dans de l'eau distillée. Si le liquide qui produit l'endosmose est de l'eau de gomme, de l'eau sucrée ou une solution saline, on le place dans le tube tenu dans une position verticale; ce liquide s'élève jusqu'à une hauteur plus ou moins considérable. Voilà le phénomène d'endosmose.

854. D'après de nombreuses expériences de M. Du-

trochet, auquel on doit la découverte de l'endosmose, l'inégalité de la densité des liquides n'est point toujours en rapport avec le degré de l'endosmose qu'ils opèrent, puisque, bien que ce soit ordinairement du côté du liquide le plus dense qu'est dirigé le courant d'endosmose, cependant cette loi est loin d'être constante; par exemple, l'alcool et l'éther, qui sont moins denses que l'eau, reçoivent de celle-ci le courant d'endosmose, comme le feraient des liquides d'une densité considérable. Nous ferons observer à cet égard que ces deux liquides s'élèvent moins que l'eau dans les tubes capillaires et se comportent par conséquent, dans cette circonstance, comme des liquides qui sont plus denses qu'elle.

855. Le phénomène a encore lieu avec des cloisons séparatrices autres que la vessie, pourvu qu'elles soient perméables à l'eau. Quelques exemples vont en donner la preuve, et montreront en même temps que leur nature exerce une influence sur le phénomène. Nous venons de voir que, lorsque l'eau est séparée de l'alcool par une membrane animale, et même l'on peut ajouter par une membrane végétale, le courant d'endosmose est dirigé de l'eau vers l'alcool; mais si l'on se sert pour cloison intermédiaire de taffetas gommé, enduit de caoutchouc, on obtient, au bout d'un certain temps, un courant d'endosmose, d'abord très-lent et ensuite très-rapide, dirigé de l'alcool vers l'eau, c'est-à-dire dans une direction contraire. Il est probable que cette différence dans la rapidité de l'action provient de l'altération du caoutchouc par l'alcool. On voit donc que la nature de la cloison séparatrice est une des causes qui influent sur la production de l'endosmose.

L'affinité des liquides hétérogènes pour la cloison séparatrice doit donc être prise en considération dans l'explication du phénomène.

Nous ferons aussi remarquer qu'en général l'abaissement de température favorise l'endosmose vers l'eau, tandis que l'élévation produit un effet inverse.

856. Passons en revue quelques-uns des effets les plus remarquables de l'endosmose.

Lorsque les subtances solubles organiques, les sels en solution, les alcalis, l'alcool, les terres sont placés dans l'endosmomètre, fermé par une membrane animale ou végétale, le courant d'endosmose est toujours dirigé de l'eau vers la solution, quelle que soit la température.

Voyons comment se comportent les acides par rapport à l'eau : l'acide nitrique à la densité de 1, 12 et au-dessus, et à la température de 10°, offre l'endosmose vers l'acide. Quand la densité est de 1,08, l'endosmose suit une direction contraire; quand elle est de 1,09. il n'y a aucun effet de produit. Pour des températures plus élevées que 10°, l'acide nitrique, quand la cloison séparatrice est une membrane animale, détruit promptement l'endosmose, si la densité surtout n'est pas très-forte.

L'acide hydrochlorique est le plus puissant des acides minéraux pour produire l'endosmose de l'eau vers l'acide. Si l'on veut obtenir cet effet en sens inverse, il faut affaiblir considérablement sa densité.

L'acide sulfurique produit l'endosmose comme les autres acides, dans deux directions opposées; à la température de + 10° et avec une densité de 1,093 l'endosmose a lieu vers l'acide. Quand sa densité est de 1,054, l'effet se produit en sens inverse; la densité 1,07 est le terme moyen qui ne donne point d'endosmose.

L'acide hydrosulfurique est également propre à produire ce phénomène.

Quand on ajoute quelques gouttes de l'un des derniers acides à une solution d'eau gommée ou d'eau sucrée, d'une faible densité, on anéantit l'endosmose.

Avec l'acide oxalique le courant d'endosmose va de l'acide vers l'eau, de sorte que si l'on met le premier dans l'endosmomètre il s'abaisse rapidement.

L'acide oxalique donne des effets d'autant plus rapides dans le même sens qu'il est plus dense. On voit donc ici qu'un liquide plus dense que l'eau, et qui est moins ascendant qu'elle dans les tubes capillaires, détermine

le courant d'endosmose, et l'eau le courant d'exosmose.

Cette propriété n'appartient pas seulement à ces deux acides, elle est encore commune aux acides tartrique et citrique. Il faut pour cela que l'acide tartrique possède une densité supérieure à 1,05 et que la température soit à +25, car lorsqu'elle est inférieure, toutes choses égales d'ailleurs, le courant suit une direction opposée à la densité moyenne de 1,05 et à la température de + 27° centésimaux; il n'y a pas d'endosmose.

Quand la température baisse, il faut une plus grande densité de l'acide pour présenter le terme moyen qui sépare les deux endosmoses opposés. Ainsi, à +15°, ce terme moyen de densité de l'acide tartrique est de 1,1.

Il est important de noter le changement de direction du courant d'endosmose, suivant le degré de densité de l'acide et le degré de température, et ce qui se passe quand les deux liquides sont séparés par une membrane végétale, au lieu d'une membrane animale. Nous allons en faire sentir la conséquence en ce qui concerne la dernière observation : l'acide oxalique, avec la membrane animale, offre toujours l'endosmose de l'acide vers l'eau, quelles que soient la densité de l'acide et sa température. Avec une membrane végétale, telle que la partie inférieure de la tige du poireau, le courant d'endosmose va au contraire de l'eau vers l'acide, quelles que soient la densité de l'acide et sa température.

L'acide sulfurique, à la densité de 1,0274 et par une température de + 4° cent., avec l'eau, dont il est séparé par une membrane végétale, a présenté l'endosmose vers l'acide, résultat inverse de celui que l'on obtient avec une membrane animale.

L'acide hydrosulfurique, à la densité de 1,00628, et à une température de + 5°, a donné des effets contraires selon que l'on employait une membrane animale ou végétale.

On voit donc que les acides présentent un phénomène exceptionnel, puisque quand ils sont séparés de l'eau pure par une membrane animale, le courant

d'endosmose est dirigé tantôt de l'eau vers l'acide, tantôt de l'acide vers l'eau, selon la densité de l'acide et la température.

857. Relativement aux phénomènes d'endosmose produits par les acides séparés des alcalis par une membrane, voici ce que M. Dutrochet a observé à l'égard de l'acide hydrochlorique seulement et des solutions de l'acide :

L'acide hydrochlorique étendu d'eau, d'une densité de 1,012, séparé d'une solution de l'acide par un morceau de vessie, à une température de 12 à 15°, donne constamment un courant d'endosmose vers l'alcali, quelle que soit la faiblesse de sa densité.

A la densité semblable, 1,012, de l'acide et de l'alcali, le courant d'endosmose suit encore la même direction; mais si on conserve à la soude sa densité, et qu'on porte celle de l'acide hydrochlorique à 1,07, le courant d'endosmose est renversé.

Les phénomènes que nous venons de décrire sont également produits avec des plaques inorganiques ayant une certaine porosité.

Avec une plaque d'argile cuite on obtient l'endosmose à un degré aussi marqué qu'avec la membrane.

858. Il résulte des faits que nous venons d'exposer succinctement que le phénomène d'endosmose et d'exosmose dépend 1° de l'action réciproque des deux liquides hétérogènes l'un sur l'autre, laquelle modifie et intervertit même tout à fait la force de pénétration propre à chacun de ces liquides; 2° de l'action particulière de la membrane sur les deux liquides qui la pénètrent, action qui, dans la membrane animale, donne le courant fort à l'acide pourvu d'une densité déterminée, tandis qu'avec la membrane végétale l'effet est inverse; 3° de l'action capillaire produite dans les interstices de la membrane. Une autre cause peut encore intervenir, comme on va le voir.

§ XI. *L'action de l'électricité concourt-elle à la production de l'endosmose?*

859. Suivant la théorie de M. Poisson et la manière de voir de M. Berzelius et de G. Magnus, on conçoit quelles sont les causes physiques qui concourent à l'effet général. L'attraction entre les particules d'une solution saline se compose des attractions mutuelles de l'eau et du sel, et de l'attraction réciproque des molécules de chacun de ces corps pris à part; quand ces attractions réunies sont plus fortes que celles des molécules d'eau entre elles, l'eau doit passer d'autant plus facilement à travers les pores du corps poreux interposé, qu'elle tient en moins grande quantité de corps étrangers en dissolution. Dans le cas où la membrane sépare deux dissolutions dans lesquelles l'attraction entre les parties est inégale et qui exercent en outre une attraction réciproque l'une sur l'autre, et une autre sur les pores de la vessie, il en résulte que l'une d'elles est attirée avec plus de force par ces pores, et que par conséquent la quantité absorbée doit être plus considérable d'un côté que de l'autre. Le liquide situé de l'autre côté attire aussi celui qui a pénétré la membrane et se mêle avec lui. Voilà comme on peut concevoir le double courant.

Nous voyons par là que l'endosmose est un phénomène très-complexe et qu'il est bien difficile de prévoir *à priori* l'effet qui doit être produit dans telle ou telle circonstance.

Nous allons examiner maintenant jusqu'à quel point l'électricité peut joindre son action à celle des diverses causes que nous venons de passer en revue.

860. Dans les phénomènes qui nous occupent, nous admettons comme cause influente, indépendamment des effets de capillarité, l'action des deux liquides l'un sur l'autre et celle de chacun d'eux sur la membrane, trois actions chimiques qui donnent naissance chacune à des

effets électriques particuliers. S'il n'existait que deux corps agissant l'un sur l'autre, il n'y aurait pas de courant électrique, puisqu'il y aurait une recomposition tumultueuse des deux électricités dégagées sur la surface même du contact; mais ici ce n'est pas le cas. Il y a toujours trois corps en contact, en y comprenant la membrane ou corps intermédiaire, dont l'un sert à la circulation des deux électricités mises en liberté, à l'instant de la réaction chimique des deux autres corps l'un sur l'autre. Il peut donc exister trois espèces de courant dont la résultante dépend de la nature des liquides et de celle de la membrane.

861. On peut nous objecter qu'un couple voltaïque est toujours formé de deux corps solides conducteurs en contact, baignés par un liquide également conducteur, réagissant chimiquement sur l'un d'eux, ou bien de deux liquides et d'un corps solide conducteurs. Le fait est vrai, quand il s'agit de corps ayant une étendue déterminée; mais il est infiniment probable qu'il n'en est pas de même quand on considère les parties élémentaires, ou bien des fractions extrêmement ténues. En effet, mille faits nous prouvent que les courants électriques sont capables de transporter aux deux pôles d'une pile les éléments de tous les corps, même de ceux qui ne sont pas conducteurs de l'électricité. Nous citerons particulièrement le soufre, la silice, la magnésie, etc., qui, quoique non conducteurs, sont transportés par l'électricité quand ils font partie d'une combinaison décomposée par elle.

Ce fait nous montre que le plus ou moins de conductibilité des corps dépend moins de la nature des éléments que du mode de groupement de ces derniers. Si donc il était possible de réduire ces corps en leurs particules élémentaires, celles-ci pourraient servir à former des petits couples voltaïques.

Il résulte de là que plus on broie menu ces corps, plus les parties que l'on obtient tendent à acquérir la faculté conductrice; quand elles n'en sont pas pourvues

complétement, leur surface la possède à des degrés plus ou moins marqués. C'est à cette propriété des surfaces que nous attribuons dans une foule de cas la précipitation des métaux et la cristallisation des sels sur les parois des vases.

Le lecteur peut consulter, à cet égard, ce que nous avons déjà exposé touchant l'influence des surfaces sur les effets électro-chimiques. Tout porte donc à croire que lorsqu'une particule acide se combine avec une particule alcaline, si l'une et l'autre sont en contact avec un corpuscule très-ténu, non conducteur, la recomposition des deux électricités dégagées pendant l'acte de la combinaison, s'effectue par son intermédiaire, de sorte que cet assemblage forme un petit appareil voltaïque. Dans la nature, un nombre infini d'effets de ce genre ont lieu et concourent efficacement aux réactions chimiques. Ces courants corpusculaires ne peuvent manquer d'être énergiques, puisque nous savons que l'électricité dégagée dans l'action chimique possède une grande puissance.

862. D'un autre côté, l'importante propriété des éponges de platine, découverte par M. Doberéiner, qui paraît appartenir à tous les corps, à des degrés plus ou moins marqués quand leurs surfaces sont très-nettes, dépend d'effets de ce genre et de l'action attractive exercée par ces corps sur les gaz, laquelle est analogue à la capillarité. Nous concevons jusqu'à un certain point pourquoi les métaux et autres corps réduits en poudre agissent avec plus d'énergie que lorsqu'ils sont en lames : quand une particule oxigène et deux particules hydrogène sont en contact, par exemple, avec une parcelle très-ténue d'éponge de platine, elles prennent à l'instant de leur combinaison, l'une l'électricité positive, et les deux autres l'électricité négative. Ces deux électricités, dont l'intensité est considérable, sont transmises immédiatement à la parcelle de l'éponge, qui, en raison de sa petitesse, n'en laisse passer qu'une portion, tandis que l'autre élève sa température. De semblables effets étant produits autour de chaque

petite parcelle, la température de la masse doit s'élever successivement; la combinaison devient alors plus active, et l'éponge ne tarde pas à devenir incandescente.

863. Avant d'appliquer ces faits et les vues théoriques qui en découlent, aux phénomènes d'endosmose et d'exosmose, nous rappellerons certaines propriétés physiques de l'électricité qui paraissent avoir ici une application immédiate.

Porret a fait voir que lorsqu'une masse d'eau, soumise à l'action de la pile, est partagée en deux parties par un morceau de vessie, l'un des pôles étant en communication avec une de ses parties et l'autre pôle avec la seconde, la plus grande portion du liquide de la cellule positive est transportée dans la cellule négative. Cette expérience ne réussit qu'autant que l'eau employée est peu conductrice de l'électricité, car lorsqu'elle renferme un acide ou un sel le transport de l'eau n'a plus lieu.

D'autres expériences prouvent également que l'électricité positive, quand elle est en mouvement, possède la faculté de renverser les obstacles qui se présentent sur sa route, faculté que n'a pas l'électricité négative.

864. M. Dutrochet a eu l'idée d'attribuer l'endosmose à une action de ce genre, sans se rendre compte de la nature des effets électriques qui sont produits dans les phénomènes qu'il a découverts. Essayons d'indiquer de quelle manière l'électricité peut être rangée au nombre des causes productrices de l'endosmose.

865. Une solution saline concentrée, dans sa réaction sur l'eau, prend l'électricité positive et donne à l'eau l'électricité contraire. L'effet ayant lieu entre les pores de la membrane ou de la cloison séparatrice, la recomposition des deux électricités s'effectue par l'intermédiaire de ses parois, quand bien même la membrane, ou corps intermédiaire, n'est pas conducteur de l'électricité. Il doit donc y avoir probablement autant de courants électriques partiels qu'il y a de pores; ces courants sont tous dirigés de l'eau vers la solution saline.

L'eau pure étant un mauvais conducteur, le courant

positif fera passer facilement l'eau à travers la membrane dans le compartiment où se trouve la solution. Dans ce cas, l'action mécanique de l'électricité vient ajouter ses effets à ceux des causes déjà signalées.

866. Si nous considérons l'action d'un acide sur l'eau, l'expérience nous apprend que pendant qu'elle se manifeste, l'acide prend l'électricité positive, l'eau l'électricité négative; par conséquent le courant tend donc à faire passer l'eau du côté de l'acide. L'expérience apprend aussi que la direction du courant d'endosmose change suivant le degré de densité de l'acide et le degré de température. Dès lors les causes que nous avons signalées, c'est-à-dire l'attraction des particules de chaque liquide pour les particules du même liquide, et celle des deux liquides l'un pour l'autre, exercent une action prépondérante.

867. Quant au phénomène d'endosmose qui est produit quand les acides sont séparés des alcalis par une membrane animale, nous ferons remarquer que, dans la réaction de ces deux liquides l'un sur l'autre, l'acide prenant l'électricité positive, l'alcali l'électricité négative, l'action mécanique du courant tend donc à faire passer l'alcali vers l'acide. Or, le courant d'endosmose ne suit cette direction que lorsque la densité des deux liquides est dans un certain rapport; il en résulte que la force attractive des particules les unes sur les autres intervient encore ici d'une manière prépondérante dans la production du phénomène.

868. Si donc l'électricité est au nombre des causes productrices de l'endosmose et de l'exosmose, elle ne doit pas être considérée comme celle qui a le plus d'influence, puisqu'il arrive souvent que les effets produits sont dans une direction inverse de ceux que l'on aurait obtenus si elle eût agi seule. On voit par là que l'endosmose et l'exosmose constituent une classe de phénomènes très-complexes dont il est bien difficile de déterminer les lois *à priori*. Nous avons cru devoir les exposer avec quelques développements, afin d'établir

nettement la part que peut avoir l'électricité dans leur production.

§ XII. *De la fermentation dans ses rapports avec l'électricité.*

869. La fermentation est un phénomène si singulier, que l'on a cherché pour l'expliquer toutes les causes que la nature met en jeu. On a même pensé que l'électricité devait intervenir d'une manière quelconque dans sa production. Nous sommes donc dans la nécessité de passer en revue rapidement les principaux faits relatifs à la fermentation, pour que nous puissions voir si réellement elle est due en partie à quelques phénomènes électriques. Les substances végétales ou animales, imprégnées d'une certaine quantité d'humidité et exposées à l'influence de l'air, éprouvent un commencement de décomposition appelé *fermentation*. Cette fermentation est alcoolique ou acide suivant, que les substances renferment du sucre ou des éléments propres à l'acidification. On a avancé que la première est influencée par l'action de l'électricité; nous allons voir jusqu'à quel point cette conjecture est fondée.

La présence de l'air est indispensable au développement de la fermentation, puisqu'elle n'a pas lieu dans un milieu privé d'oxigène. M. Gay Lussac a reconnu que la quantité de ce gaz, qui est nécessaire pour déterminer la production du phénomène, est très-faible; mais l'action, une fois commencée, continue, même dans un milieu qui n'en renferme pas. Il se passe donc là un mouvement moléculaire dans lequel on a cru reconnaître l'influence de l'électricité. Il est hors de doute que, pendant cette action tumultueuse, l'équilibre de cet agent est troublé; mais, expliquer les phénomènes chimiques qui en résultent au moyen des effets électriques qui l'accompagnent, c'est ce que l'on ne peut faire.

862. La matière sucrée n'entre en fermentation qu'au-

tant qu'on y a ajouté du gluten ou des substances analogues; encore faut-il que le gluten et l'albumine végétale éprouvent au contact de l'air une altération particulière qui donne naissance au ferment à l'action duquel est due la fermentation. M. Berzelius pense qu'il pourrait bien se faire que cette action fût due à une force analogue à celle qu'exerce le platine en éponge sur l'hydrogène et l'oxigène, ou à l'action décomposante de quelques métaux, tels que le platine, l'or et leurs oxides sur le deutoxide d'hydrogène. S'il en était ainsi, il serait probable que l'électricité jouerait un certain rôle dans l'acte de la fermentation, car on conçoit jusqu'à un certain point de quelle manière elle intervient dans le contact des éponges métalliques avec des composés gazeux.

Nous n'entrerons dans aucun détail sur la composition du ferment pur et sur les altérations légères qui lui enlèvent la faculté de produire la fermentation, parce que ces développements ne sont pas de notre ressort; mais nous nous arrêterons un instant sur les théories qui ont été données touchant le mode d'action du ferment.

871. Comme nous l'avons déjà dit, on a fait intervenir successivement toutes les forces dont la science pouvait disposer pour rendre raison des effets produits. Il n'est pas étonnant par conséquent que l'on ait cherché à l'attribuer à l'électricité. M. Gay Lussac a reconnu que si l'on plonge les deux fils extrêmes en platine d'une forte pile voltaïque dans du jus de raisin conservé à l'abri du contact de l'air, la fermentation ne tardait pas à se manifester. M. Colin, en opérant de la même manière, a excité la fermentation dans une dissolution sucrée, dont la moitié, placée dans les mêmes circonstances, mais non soumise à l'action de la pile, ne fermentait que dans l'espace de deux mois. On en a conclu sur-le-champ que le passage de l'électricité dans la matière fermentescible déterminait dans les molécules un mouvement capable de produire le phénomène. Mais il reste à savoir si le dégagement

d'oxigène qui résulte de la décomposition de l'eau n'était pas la cause du phénomène. L'alternative n'a pas encore été décidée. On a reconnu à la vérité qu'une dissolution de sucre parfaitement pur soumise au même mode d'expérimentation n'éprouvait aucun mouvement fermentescible; cependant cette dissolution a dû fournir de l'oxigène. Ainsi l'action de l'électricité et la présence de l'oxigène ne suffisent pas pour déterminer la fermentation.

Schweigger s'est attaché à démontrer que le ferment forme, avec le sucre et l'eau, un grand nombre de petits couples voltaïques qui sont répandus dans le liquide. Cette assertion, qui est loin d'être dénuée de tout fondement, n'a pour elle cependant aucune observation tant soit peu probante.

872. M. Colin, en s'occupant de l'action de l'électricité (1) sur les matières fermentescibles, a fait les observations suivantes :

L'extrait de levûre ou ferment soluble, qui est une substance brune, savoureuse, aromatique, dont la solution ne s'altère pas sensiblement à l'air, se comporte comme un ferment quand il a été purifié par l'alcool; mais si l'on filtre sa dissolution avant d'y ajouter du sucre, elle ne possède plus la propriété de transformer celui-ci en alcool : on la lui rend cependant au moyen de la pile.

M. Colin ayant fait l'expérience sur un mélange de sucre et d'extrait préparés par des dissolutions alternatives et réitérées dans l'eau et l'alcool, a observé de petites écailles ou pellicules au pôle positif, et des bulles de gaz aux deux pôles. Si ce mélange, au lieu d'être électrisé, est abandonné à lui-même, il se prend, au bout de huit ou dix jours, en un liquide trouble et très-visqueux; si, dans cet état, on l'électrise pendant quelques minutes avec la machine électrique ou la bouteille de Leyde, la fermentation s'y établit au bout de peu de jours, quoique lentement. Cette opération dure

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXX, p. 54 et suiv.

trois semaines, et la liqueur alcoolique devient gazeuse et muqueuse, et on en sépare la gomme avec le filtre.

Il résulte de là que la levûre, soluble dans un certain état, peut donc convertir en alcool ou en gomme la matière sucrée selon que l'on emploie ou non l'action de l'électricité.

Il résulte des observations de M. Colin que les levûres n'exigent point le concours de l'oxigène pour produire l'alcoolisation; qu'elles se composent de parties solubles et de parties insolubles; que les parties solubles sont celles qui possèdent principalement le pouvoir de fermenter, tandis que c'est dans les parties insolubles que réside la propriété de convertir l'oxide de l'air en acide carbonique.

Nous ne savons donc encore rien touchant le rôle que peut jouer l'électricité dans la fermentation. Nous avons cru cependant qu'il était convenable de rapporter les opinions qui ont été émises à ce sujet, pour que le lecteur puisse connaître l'état actuel de la question.

§ XIII. *De l'action de l'électricité voltaïque sur l'alcool et l'éther.*

873. Quand nous avons indiqué (1) les méthodes à employer pour séparer, au moyen de l'électricité, les principes immédiats de quelques végétaux, nous n'avons nullement fait mention des produits secondaires, qui sont si fréquents dans les décompositions des substances inorganiques soumises à l'action voltaïque. Ces produits secondaires sont aussi nombreux, s'ils ne le sont pas davantage, dans les décompositions électro-chimiques de quelques composés tirés des végétaux. Nous prendrons pour exemple l'alcool et l'éther.

874. M. Arthur Connell (2) a reconnu que, lorsque

(1) Page 172.
(2) Transact. de la Soc. roy. d'Édimb., vol. XIII.

l'alcool tient en dissolution certaines substances, même en petite quantité, et qu'on soumet ce liquide à l'action de la pile, il se manifeste des signes évidents de décomposition. Ainsi, lorsque de l'alcool (p. s. 0,830) contient $\frac{1}{500}$ de potasse caustique, il y a dégagement de gaz seulement au pole négatif. L'action d'une pile de 50 éléments suffit pour produire cet effet. Une petite portion du gaz recueilli ayant été mêlée avec trois fois son volume de chlore, et le mélange laissé dans une chambre obscure sur l'eau, en peu d'heures tout le chlore employé a été absorbé sans la moindre apparence de matière huileuse. Ce gaz ayant été examiné à l'eudiomètre de Volta, a donné des proportions variables d'hydrogène et d'air atmosphérique. Il résulte de là que le gaz dégagé au pôle négatif était de l'hydrogène pur, de l'oxigène et de l'azote provenant de l'air tenu en dissolution par l'alcool. Effectivement, en faisant l'expérience, sans le contact de l'air atmosphérique, dans un tube fermé, la proportion de l'air atmosphérique mêlé avec l'hydrogène était beaucoup diminuée. M. Connell est parvenu même à n'obtenir que de l'hydrogène pur. Le résultat a été le même avec de l'alcool à 0,7928 et 66° F. Trois grammes environ d'alcool, tenant en dissolution $\frac{1}{200}$ à $\frac{1}{250}$ de potasse, et soumise dans le tube (fig. 28) à l'action de 60 paires de plaques de 4 pouces, avec des lames de platine, ont fourni un pouce cubique de gaz, en moins d'un quart d'heure, au pôle négatif, et 2 $\frac{1}{2}$ pouces cubiques, en deux heures un quart depuis le commencement. Le liquide a acquis bientôt une couleur rougeâtre, et il s'est déposé peu à peu au fond du tube une matière blanche qui était du carbonate de potasse. Le gaz dégagé était de l'hydrogène pur, et la couleur rouge provenait de la formation d'une matière résineuse.

875. On voit donc que l'action produite était due en partie à la décomposition de l'eau contenue dans l'alcool; l'hydrogène était transporté au pôle négatif, tandis que l'oxigène produisait des effets secondaires. Si l'on veut obtenir un dégagement de gaz, faible à la vérité, il faut

agir sur de l'alcool qui renferme au moins un volume d'eau égal au sien. Avec de l'alcool ayant une densité de 0,8358 et tenant en dissolution une plus grande quantité de potasse, $\frac{1}{100}$, par exemple, on observe une légère effervescence au pole positif.

M. Connell a obtenu les mêmes résultats en substituant à la potasse d'autres substances, telles que le chlorure de calcium, le nitrate de chaux, l'iodure de potassium, etc.

876. Pour expérimenter sur de l'alcool pur, ce physicien a employé la plus grande force voltaïque dont il pût disposer, celle d'une pile de 266 paires de plaques de 4 pouces. L'alcool fut placé dans le tube n° 28, pouvant contenir quatre grammes $\frac{1}{3}$. Les conducteurs étaient formés de lames de platine ayant environ un pouce de long sur $\frac{1}{5}$ de large; l'alcool soumis à l'expérience avait une pesanteur spécifique de 0,7928 à 66° F.

Lorsqu'il se manifestait une action avec les lames de métal placées à la distance de $\frac{1}{10}$ de pouce, on obtenait au pôle négatif un dégagement de gaz abondant, et rien au pôle positif. L'action était si intense que la température s'élevait bientôt jusqu'à l'ébullition du liquide. Le gaz recueilli au pôle négatif, et analysé au moyen du chlore et de l'eudiomètre de Volta, a encore donné de l'hydrogène combiné quelquefois avec $\frac{1}{8}$ d'air commun provenant du liquide. L'alcool avait acquis une odeur d'éther. En y ajoutant un peu d'eau, il se précipitait une petite quantité de matière résineuse jaune.

877. Il est facile maintenant de se rendre compte des changements qui sont produits dans l'alcool pendant l'action voltaïque. L'effet le plus direct paraît consister dans la décomposition partielle de l'eau contenue dans l'alcool, et de celle qui est au nombre de ses parties constituantes quand on opère sur de l'alcool pur. L'hydrogène est mis en liberté et l'oxigène est employé à produire des composés secondaires.

Il faut se rappeler, pour concevoir cette théorie, la faible affinité de l'alcool pour l'oxigène. Au surplus, les

expériences suivantes viennent en confirmer l'exactitude.

878. Nous savons, d'après M. Faraday, que, lorsque le même courant électrique passe à travers deux solutions aqueuses différentes et décompose l'eau des solutions, la quantité décomposée de ce liquide dans chacune d'elles est exactement la même, et que si la même quantité d'hydrogène et d'oxigène est dégagée de deux liquides différents, par suite du passage du même courant, il est probable que, dans les deux cas, l'eau est le sujet de la décomposition. M. Connel s'est appuyé sur ces deux principes pour étudier de nouveau l'action de l'électricité sur l'alcool. Il a employé des tubes dans lesquels étaient soudés au chalumeau des fils de platine terminés par des lames de même métal. Deux de ces tubes ont été remplis d'alcool et renversés dans un petit vase contenant également de l'alcool, tandis que deux autres, remplis d'un liquide aqueux avec lequel l'alcool était comparé, ont été renversés comme les autres. Ces tubes étaient unis comme l'indique la fig. 29. Le liquide alcoolique fut placé dans le tube A de la fig. 30, ayant un fil soudé en N et un autre passant à travers un liége en F; et ce tube fut uni avec ceux qui contenaient le liquide aqueux. L'alcool soumis à l'expérience avait une pesanteur spécifique de 0,802 et de 0,796. Le vase A (fig. 29), avec ses tubes, fut rempli d'alcool de la 1re pesanteur spécifique, tenant en dissolution $\frac{1}{200}$ de potasse, et l'on plaça dans le vase B de l'eau acidulée avec $\frac{1}{12}$ d'acide sulfurique. Le tube P du vase B fut uni avec le pôle positif d'une batterie de 36 paires de plaques de 4 pouces, et le tube N du vase A avec le pôle positif de la même batterie. Les deux autres tubes communiquaient ensemble au moyen d'un petit fil de cuivre. Les gaz se réunirent lentement dans tous les tubes, excepté dans le tube positif du vase A contenant le liquide alcoolique. Après 3 heures $\frac{3}{4}$ d'action, le tube négatif de A contenait 0,3 d'un pouce cubique, et le tube négatif de B, 0,35.

L'expérience ayant été répétée, a donné sensiblement

le même résultat. Ainsi, il y a eu à peu près la même quantité d'hydrogène dégagée par l'action du même courant, soit que le liquide sur lequel on agissait fût de l'alcool ou de l'eau; par conséquent on devait en conclure que, dans les deux cas, l'eau était le sujet de la décomposition. En opérant avec des dissolutions renfermant de petites quantités de potasse, d'iodure de potassium, on a trouvé encore que l'eau était réellement le sujet de l'action directe du courant voltaïque transmis à travers l'alcool.

C'est une chose remarquable que de voir combien est petite la quantité de potasse capable de produire des indices de décomposition dans l'alcool. Par exemple, si l'on agit sur de l'alcool pur dans un verre avec une pile de 50 paires de plaques de 2 pouces, en approchant simplement les lames de platine l'une de l'autre horizontalement, on n'observe aucune action décomposante, lorsque l'alcool ne tient rien en dissolution; mais, s'il renferme en dissolution $\frac{1}{8000}$ de potasse, on aperçoit aussitôt un faible courant de petites bulles au pôle négatif. Il peut se faire que la présence de ce corps augmente suffisamment la conductibilité de l'alcool pour déterminer l'action électro-chimique.

879. L'éther rectifié, soumis au même mode d'expérimentation que l'alcool, n'a donné que des résultats négatifs. Ce liquide possède un pouvoir dissolvant beaucoup plus limité que celui de l'alcool; il ne dissout qu'une quantité à peine perceptible de potasse; soumis alors à l'action d'une pile de 50 paires de plaques de 2 pouces, il n'y a eu aucune apparence de décomposition. Il en a été encore de même avec une forte solution éthérée de sublimé corrosif, ainsi qu'avec de l'éther tenant en dissolution du chlorure de platine et de l'acide chromique. En employant le pouvoir de 250 paires de plaques de 4 pouces sur de l'éther pur, dans le tube fig. 28, quand il était refroidi ou chauffé jusqu'au point de l'ébullition, M. Connell n'a observé non plus aucun signe de décomposition. Ainsi donc, il était probable que l'éther ne ren-

fermait pas d'eau. Il semblerait résulter de là que l'eau n'entre pas dans sa composition ; car si elle était un de ses principes constituants, il est probable, qu'à l'exemple de l'alcool, elle eût cédé à l'influence décomposante de la pile.

880. Nous avons passé en revue les observations les plus importantes relatives à l'action de l'électricité agissant sur les végétaux et leurs principes immédiats, comme force physique ou comme force chimique, nous allons faire connaître maintenant les effets qu'elle produit, dans l'un et l'autre cas, sur l'homme et sur les animaux.

CHAPITRE II.

ACTION DE L'ÉLECTRICITÉ SUR LES CORPS ANIMÉS.

§ Ier. *Des causes mécaniques qui produisent les contractions.*

881. Les contractions musculaires dues à l'action de l'électricité sur les nerfs ont occupé long-temps les physiciens et les physiologistes; les effets observés prêtaient tellement à l'illusion, surtout à l'époque des découvertes de Galvani, que l'on crut un instant avoir découvert le principe de la vie; mais les recherches ne tardèrent pas à se ralentir, quand on reconnut que le fluide électrique n'était qu'un stimulant, comme le frottement, les acides et autres corrosifs, pour produire les contractions musculaires. Il ne fut nullement démontré cependant que cet agent ne jouait pas un certain rôle dans les phénomènes de la vie.

Cette question étant d'une nature très-complexe, nous avons pensé qu'il était nécessaire, pour l'exposer avec méthode, de donner quelques développements sur les contractions en général. Ces développements sortent, à la vérité, du domaine ordinaire de la physique; mais les sciences physico-chimiques ont pris un tel accroissement depuis une trentaine d'années que si l'on veut les appliquer utilement à l'histoire naturelle et à la physiologie, il faut acquérir préalablement des notions générales sur ces deux branches de nos connaissances.

14.

En étudiant successivement chacune des causes qui font naître les contractions, nous tâcherons de voir s'il existe ou non, dans leur mode d'action, quelques conditions de ressemblance, à l'aide desquelles on puisse les réunir au moyen d'une seule expression.

882. Il existe, comme on sait, dans les animaux, des parties douées d'excitabilité et de sensibilité, et d'autres qui ne possèdent aucune de ces facultés. Les parties excitables sont celles qui se contractent quand un corps étranger les touche un peu fortement ou réagit chimiquement sur elles; les parties sensibles sont celles qui, dans les mêmes circonstances, produisent des sensations quelconques. Pour reconnaître les unes et les autres, il faut, comme l'indique Haller, mettre à nu les parties, et les irriter, aussitôt que l'animal a cessé ses mouvements et ses plaintes, avec la chaleur, l'alcool, le scalpel, les acides et autres corrosifs. On voit alors quelles sont les parties qui sont agitées et celles qui excitent un sentiment de douleur. Quand on porte, par exemple, un de ces irritants sur un muscle, et mieux encore sur le nerf correspondant, il en résulte un mouvement brusque et rapide, qui, néanmoins, est loin d'avoir cette énergie avec laquelle le cerveau fait contracter les muscles d'un animal vivant; aussi dit-on que la force de contraction musculaire est en raison composée de la force d'organisation du tissu et de la force d'excitation cérébrale. Si l'un et l'autre sont peu marqués, les mouvements sont peu apparents; s'ils sont exaltés, les mouvements deviennent violents.

Il nous est impossible d'entrer ici dans l'examen détaillé des parties excitables, des parties sensibles des animaux et de celles qui sont privées de ces deux facultés; nous dirons seulement que les fibres musculaires, ainsi que les muscles de la vie organique qui reçoivent des nerfs, sont éminemment doués de contractilité et de sensibilité, tandis que le poumon, le foie, etc., n'ont point de sentiment, ou du moins n'en ont qu'un faible.

883. Nous ferons remarquer encore que le sang paraît

nécessaire à l'excitabilité des muscles, puisque, dans les animaux à sang chaud, les contractions cessent quand il est coagulé; tandis que, dans les animaux à sang froid, elles se manifestent quelquefois vingt-quatre heures après la mort. Cette différence vient peut-être en partie de ce que le sang, en se coagulant, enlève aux parties organiques leur motilité. Il peut se faire aussi que la faculté contractile varie suivant la classe des animaux, en raison de l'excitabilité des nerfs.

Si l'on examine avec attention le muscle d'une grenouille pendant qu'il se contracte, on n'en voit point sortir de sang. La contraction est donc le résultat d'un dérangement momentané dans la position d'équilibre des molécules organiques, lequel dérangement ne peut avoir lieu si le sang ne conserve pas sa fluidité.

884. La propriété contractile des muscles paraît dépendre de l'action des nerfs; aussi est-elle considérée comme un des attributs de la vie. Pour le prouver, il suffit d'irriter successivement le nerf et le muscle : on voit alors que la contraction est incomparablement plus forte dans le premier cas que dans le second. Dans celui-ci, l'action exercée sur les ramifications nerveuses est la cause du phénomène : aussi doit-il être moins marqué.

Quoique cette faculté soit propre à la vie, elle se manifeste néanmoins encore quelque temps après la mort, surtout dans les animaux à sang froid.

885. Il faut bien distinguer de la contraction l'effet qu'éprouve la fibre musculaire quand on la plonge dans de l'eau, dont on élève successivement la température jusqu'à l'ébullition. Dans ce cas, elle se crispe et se condense progressivement jusqu'à l'instant de l'ébullition où la condensation est la plus forte; elle perd alors la faculté de se contracter par l'action des acides concentrés de l'alcool ou de la chaleur, qui est elle-même un excitant toutes les fois que son intensité n'est pas suffisante pour désorganiser les tissus. Il y a donc une différence essentielle entre la contraction et le racor-

nissement. Dans le premier cas, il y a déplacement de molécules organiques, oscillation et retour à leur position primitive d'équilibre; tandis que, dans le second, il y a déplacement sans retour à cette position, et par conséquent désorganisation.

886. Si l'on irrite un nerf, dans un animal vivant, avec un instrument aigu, le muscle correspondant se contracte aussitôt; en continuant l'irritation sur le même point, la contraction finit par ne plus se produire, la faculté du nerf se trouve par là émoussée dans ce point; mais si l'on porte l'irritation sur une autre partie, elle se manifeste de nouveau. Le nerf étant coupé, si on l'irrite au-dessous de la section, l'animal n'éprouve aucune sensation, mais le muscle se contracte aussitôt; si l'irritation est portée au-dessus, il y a un effet inverse de produit. Cette observation est d'une grande importance pour la théorie électrique des contractions.

887. Voyons l'influence des nerfs sur les contractions musculaires en général. Si l'on lie le nerf brachial d'un chien, l'animal, pendant la ligature, donne des marques de la douleur la plus violente, et aussitôt après, sous la ligature tout devient insensible. Le tronc même du nerf irrité ne cause plus de douleur à l'animal. Il résulte de là que la compression exercée sur le nerf empêche la cause qui produit la contraction de se transmettre dans son trajet. En détachant la ligature, le nerf recouvre la faculté dont il jouissait auparavant.

Si l'on coupe les nerfs des deux jambes de derrière d'une grenouille, elles perdent entièrement le sentiment et le mouvement volontaire; mais leurs muscles conservent leur excitabilité. Cette expérience est importante à noter.

Nous pouvons conclure de là que la cause qui fait contracter les muscles est transmise par les nerfs; que, dans la vie, cette cause dépend du sentiment; que l'irritation des nerfs ne produit jamais de mouvement que dans les muscles correspondants. Les nerfs remplissant seulement les fonctions de conducteur et ne paraissant

éprouver aucun mouvement apparent d'oscillation, on serait disposé à croire que leur action n'est pas celle d'une force mécanique qui met en mouvement une autre force, cependant nous verrons plus loin, que l'hypothèse contraire peut être admise; quelle que soit la manière dont on envisage cette action, elle consiste, dans la vie, à faire parvenir aux muscles, d'une manière qui n'a pas encore été définie, une force secrète et invisible qui les met en contraction. Cette action est-elle le résultat du passage d'un fluide impondérable émané du cerveau à travers les nerfs? c'est ce que nous aurons l'occasion d'examiner, quand nous parlerons de l'action de l'électricité sur le système nerveux.

888. Nous avons vu que, lorsqu'on coupe un nerf en deux, la partie inférieure, quand elle est irritée, fait contracter les muscles subjacents, tandis que, lorsqu'on excite l'autre, il ne se produit point de contractions dans les muscles supérieurs. L'influence nerveuse ne remonte donc pas pour le mouvement comme elle le fait pour le sentiment; nous verrons qu'il en est encore de même en se servant de l'électricité comme excitant, suivant que le courant est dirigé dans le sens des ramifications nerveuses, ou bien en sens contraire.

889. Après la mort, quand les fonctions intellectuelles ont cessé, la contractilité animale n'est plus que le résultat d'une cause physique qui agit encore sur les nerfs. Durant la vie, l'acte de la volonté favorise ou contrarie les effets de l'irritation mécanique; aussi, doit-on y avoir égard dans les expériences, pour éviter d'attribuer à l'organisation des tissus ce qui n'est que l'effet de la volonté.

§ II. *De l'organisation des nerfs et des muscles dans l'état de repos et dans l'état de contraction.*

890. Si nous voulons essayer d'analyser les phénomènes de contraction produits par l'électricité, nous devons donner aussi un aperçu des notions que nous possé-

dons sur l'organisation des nerfs et des muscles, et sur les changements qu'éprouvent ceux-ci quand ils passent de l'état de repos à l'état de contraction. Cette question est purement anatomique, nous le savons : elle sort par conséquent du domaine de la physique ordinaire. Mais il est impossible de ne pas en parler dans un traité général de l'électricité, où l'on se propose d'approfondir, autant que la science peut le permettre, tous les phénomènes qui ont des rapports plus ou moins immédiats avec l'électricité. Les anatomistes n'étant pas d'accord entre eux, sur l'organisation des nerfs, nous allons rapporter succinctement les principales opinions qui ont été émises.

D'après MM. Prevost et Dumas, si l'on divise un nerf longitudinalement, et que l'on étale sous l'eau la matière pulpeuse renfermée sous le névrilème, on la trouve composée d'un grand nombre de petits filaments parallèles, égaux en grosseur, qui semblent continus dans toute la longueur du nerf. Ces filaments, qui sont plats, paraissent formés de quatre fibres élémentaires, disposées à peu près sur le même plan et composées de globules. La figure 31 représente des fibres nerveuses formées de quatre séries de globules en chapelet, disposées de champ l'une à côté de l'autre. Suivons maintenant le nerf à son entrée dans le muscle : on le voit se ramifier d'abord d'une manière peu régulière en apparence, si ce n'est que l'on aperçoit une tendance marquée dans les rameaux à se diriger perpendiculairement aux fibres musculaires. On observe facilement cette structure sur le muscle sterno-pubien de la grenouille figure (32). Si l'on emploie un grossissement de 2 ou 300 diamètres, on voit que le nerf, quand il arrive à ses dernières ramifications, s'élargit, et ses fibres secondaires se séparent, et s'étalent comme dans le cas où il est dépouillé de son névrilème. Tantôt on voit deux troncs nerveux parallèles aux fibres du muscle qui cheminent à distance l'une de l'autre, et se transmettent mutuellement de petits filets passant au travers

de l'espace musculaire qui les sépare, et le coupant à angle droit; d'autres fois, le tronc nerveux est lui-même perpendiculaire aux fibres du muscle, et les filets qui en dérivent s'épanouissent en conservant cette direction; ils parcourent l'organe, et reviennent sur eux-mêmes en forme d'anse. La fig. 33 représente ces différents effets. Le muscle est vu par transparence, afin de mieux saisir les derniers ramuscules nerveux. On les voit épanouis et étalés dans les troncs *a a*, puis se répandant au travers des fibres musculaires perpendiculairement à leur direction, se contournant sur eux-mêmes, en forme d'anse, pour revenir dans le tronc qui les a fournis. Suivant cette manière de voir, les nerfs n'ont pas de terminaison, et leurs rapports sont les mêmes que ceux des vaisseaux sanguins.

891. M. Breschet, qui a fait aussi une étude approfondie de la structure des nerfs, a remarqué que les filets qui proviennent des troncs nerveux, disséminés dans le tissu musculaire sous-cutané, se sous-divisent à l'infini en approchant du derme, et qu'il serait impossible de distinguer les nerfs des parties adjacentes, si l'on ne voyait pas le point où ils entrent et celui auquel ils aboutissent. Il a reconnu, en outre, que la direction des papilles dans l'épiderme est oblique et légèrement inclinée; qu'outre leur névrilème, elles ont encore une gaîne propre qui les couvre en forme de capuchon, laquelle est formée aux dépens de la matière cornée. La longueur des papilles varie avec l'épaisseur de la peau. La base, qui se confond avec le derme, est marquée de cannelures, qui disparaissent insensiblement, à mesure que le corps des tiges s'effile et s'arrondit, pour se terminer par un sommet renflé comme une baguette de tambour.

Le corps du nerf est formé sous le névrilème de stries légères, ondulées, qui, partant de la base, deviennent moins marquées et, pour ainsi dire, vaporeuses, à mesure qu'elles serpentent vers le renflement terminal où elles paraissent se réunir en demi-cercles concentriques,

La surface en est lisse et unie, et aucune partie ne s'en détache pour communiquer avec les tissus voisins. La fig. 34 donne une idée de la constitution des nerfs, telle que l'a observée cet habile anatomiste.

La fig. 35 est la papille munie de sa gaîne, vue avec le plus fort grossissement du microscope; on distingue, à la surface, des stries qui se joignent à l'extrémité en demi-arceaux concentriques.

Cette manière de voir a de l'analogie avec celle de MM. Prevost et Dumas; en effet ces derniers admettent que les ramifications nerveuses extrêmes, après s'être dirigées parallèlement entre elles, retournent dans le tronc qui les a fournies, de manière à former un circuit fermé; tandis que, suivant M. Breschet, les filaments composant le cordon qui constitue chaque papille nerveuse paraissent former des anses à leurs extrémités, et par conséquent retourner sur elles-mêmes pour former également un circuit fermé.

Plusieurs anatomistes ne partagent pas les opinions de MM. Prevost, Dumas et M. Breschet, sur le mode de terminaison des nerfs. Quand bien même on adopterait la terminaison en forme d'anse, on se demanderait encore si le renflement qui termine le nerf, consiste en une pulpe homogène ou en un filet faisant arcade sur lui-même, de manière à établir un courant ascendant ou descendant, analogue à celui qui circule dans un appareil voltaïque fermé? Au surplus, ce n'est pas le seul point de divergence entre les anatomistes, relativement au mode de terminaison des nerfs. Suivant les uns, les filets nerveux se perdent dans le tissu des organes; suivant les autres, le nerf, ne pouvant se répandre dans toutes les parties du même tissu, est entouré d'une atmosphère nerveuse, au moyen de laquelle il étend son action à distance. On voit donc qu'il est bien difficile de se former une idée nette du mode de terminaison des nerfs dans les muscles, et cependant le physicien a le plus grand intérêt à le connaître.

885. Passons à l'organisation des muscles et aux change-

ments qu'ils éprouvent pendant la contraction. MM. Prevost et Dumas ont divisé la fibre musculaire en trois ordres, savoir : en fibres tertiaires, qui sont les filaments musculaires que l'on obtient en fendant le muscle dans le sens de la longueur en fibres secondaires qui proviennent de la division des précédentes, et en fibres primaires, qui sont dues à la division de celles-là. Mil. Edwards, qui s'est occupé d'une manière toute particulière de l'étude de cette fibre élémentaire, a reconnu qu'elle était identique dans tous les animaux, à tous les âges, et formée d'une série de globules d'un même diamètre; les fibres secondaires se trouvent donc formées de la réunion d'un faisceau de semblables chapelets.

Quand on soumet à un microscope d'un grossissement ordinaire les fibres secondaires, on les voit comme des lignes barrées en travers par un nombre considérable de petites lignes sinueuses, placées à la distance régulière de $\frac{1}{300}$ de millimètre. Cet aspect, qui paraît dû à la gaîne membraneuse dont elles sont revêtues, ne se retrouve pas dans la fibre secondaire qui a été fendue ou déchirée, et varie avec la direction de la lumière; on doit donc le considérer comme un effet d'optique. Cette fibre, du reste, est composée d'un très-grand nombre de petits filets élémentaires, placés parallèlement ou à peu près à côté les uns des autres. En examinant également au microscope un muscle en repos et suffisamment fin pour qu'on puisse l'apercevoir par transparence, on voit qu'il est formé de la réunion d'un certain nombre de fibres sensiblement parallèles, très-flexibles, et disposées de manière à pouvoir changer facilement de position. Tout cet échafaudage est maintenu par un tissu cellulaire et sillonné, en différents sens, par des vaisseaux et des nerfs qui le parcourent, sans avoir avec lui des liaisons faciles à observer. La fig. 36 représente une lame en repos avec un nerf *aa* qui s'y distribue; la fig. 37, la fibre secondaire; la fig. 38, la même fibre convenablement éclairée avec les chapelets des fibres primitives.

Quand le muscle sterno-pubien de la grenouille se

contracte, les fibres parallèles qui le composent se fléchissent tout à coup en zigzag et présentent un grand nombre d'ondulations régulières (fig. 38 *bis*). Les contractions cessant, les fibres reprennent leur position primitive d'équilibre. En examinant avec soin les circonstances de ces flexions, on voit qu'elles ont lieu dans des points déterminés et fixes. Ce fait semble faire croire, suivant MM. Prevost et Dumas, qu'elles sont le résultat de l'attraction momentanée de ces mêmes points entre eux. On observe des effets absolument semblables dans les muscles des animaux à sang chaud, quelle que soit leur situation ; c'est donc une propriété générale.

MM. Prevost et Dumas ont constaté par l'expérience que la flexion de la fibre représente bien exactement la quantité dont elle s'est raccourcie, et que le changement qu'elle a subi porte uniquement sur la direction.

On doit en conclure que les muscles sont éminemment élastiques.

Il ne suffit pas de connaître l'organisation des muscles et des nerfs; si l'on veut essayer de découvrir jusqu'à quel point l'action de l'électricité intervient dans les phénomènes de la vie, il faut encore posséder des notions générales sur les organes d'où émanent les nerfs, attendu que c'est de là qu'ils reçoivent l'impulsion première pour accomplir les diverses fonctions dont ils sont chargés.

Les nerfs qui prennent leur origine dans le cerveau ou dans la moelle épinière, qui n'en est que la continuation, aboutissent aux organes des sens ou aux muscles soumis à l'empire de la volonté et à quelques autres organes, tels que l'estomac. La matière pulpeuse qui est contenue dans leur intérieur n'est autre, suivant toutes les apparences, que la matière cérébrale. Leur névrilème est le prolongement de l'enveloppe immédiate du cerveau appelée *pie-mère*.

Le système des nerfs qui président aux actes non soumis à l'empire de la volonté, ou qui n'y sont soumis qu'en partie, tels que la respiration, la digestion, etc.,

est assez complexe, puisqu'il existe entre les nerfs qui naissent du centre céphalo-rachidien et ceux qui viennent des ganglions formant le grand sympathique des communications nombreuses, des anastomoses, etc.

Le cerveau, qui est une partie de l'encéphale où s'opèrent les phénomènes physiques et chimiques les plus sublimes des fonctions animales, a l'aspect d'un sac d'étoffe épaisse qui aurait été replié sur lui-même pour entrer dans une cavité moins ample que lui; l'intérieur de cet organe se présente sous la forme de cavités appelées *ventricules*, communiquant ensemble et humectées de sérosité. Il est formé d'une matière dont la texture est extrêmement délicate, ayant peu de consistance, et dans l'intérieur de laquelle les nerfs pénètrent assez loin.

Quant à la moelle épinière, qui est le prolongement du cerveau, sa composition, d'après M. Vauquelin, est la même.

Les considérations que nous venons de présenter sur les contractions musculaires, nous seront utiles quand nous chercherons à interpréter l'action physiologique de l'électricité.

§ III. *Phénomènes généraux concernant l'action physiologique de l'électricité.*

893. Nous avons rangé la chaleur au nombre des causes qui font naître les contractions musculaires; mais il existe encore un autre agent impondérable qui se comporte d'une manière tellement remarquable, que l'on est tenté d'admettre son concours dans les phénomènes de la vie; cet agent est le fluide électrique. Nous touchons là à une des questions les plus délicates de la philosophie naturelle; aussi, devons-nous nous mettre en garde contre toutes les conséquences que nous pourrions titer des faits observés relativement à la vitalité.

Les effets physiologiques de l'électricité peuvent être divisés en trois classes : la première comprend ceux qui sont relatifs à l'action produite par l'électricité de ten-

sion; la seconde, les effets mécaniques résultant du passage de l'électricité dans les diverses parties des corps organisés; et la troisième, les changements chimiques produits par l'électricité agissant comme force chimique. La seconde classe a été seule l'objet d'études approfondies.

894. Quand un corps quelconque, organisé ou non, est placé sur un support isolant, et qu'il se trouve en communication directe avec une source d'électricité, il est électrisé, c'est-à-dire qu'il devient apte à transmettre aux corps non électrisés avec lesquels on le met en relation une portion du fluide qu'il possède; si le corps est conducteur, toute l'électricité se répand sur sa surface, où elle forme une couche excessivement mince, dont l'épaisseur constitue la tension électrique. Jusqu'ici on n'a recueilli aucun effet physiologique bien constaté touchant l'action de ce mode d'électrisation, qui est celui auquel sont soumis tous les corps disséminés sur la surface du globe, puisque l'atmosphère est toujours chargée d'une certaine quantité d'électricité, qui est toujours positive quand le ciel est serein, et tantôt positive, tantôt négative dans les temps pluvieux ou orageux.

895. On a avancé que l'électricité répandue à la surface d'un corps humide facilitait l'évaporation; ce fait est vrai, mais il n'est que la conséquence des propriétés physiques que nous lui reconnaissons. En effet, tout liquide tend à s'évaporer, en raison de sa température et de la pression qu'il supporte. Les molécules aqueuses, placées à peu de distance de cette surface, s'emparant de l'électricité environnante, sont chassées au loin par l'effet de l'action répulsive des électricités de même nature. Les molécules sont bientôt remplacées par d'autres, et ainsi de suite, jusqu'à ce que l'évaporation soit terminée.

896. D'un autre côté, quand l'électricité traverse un liquide renfermé dans des vaisseaux capillaires, elle le force à en sortir, toutes les fois que sa propagation ne s'effectue pas librement; mais si sa tension est telle que toute l'électricité puisse passer sans éprouver d'obstacle,

l'écoulement du liquide cesse aussitôt. Voilà comment il faut concevoir que le fluide électrique accélère la sortie des liquides par les orifices capillaires.

897. Les physiciens du milieu du siècle dernier avaient cru remarquer que chez les personnes électrisées, il y avait accélération du pouls, élévation de température et augmentation dans la transpiration insensible; ces résultats ayant été contestés, Van Marun, dans le but de décider la question, a fait, aidé de quelques médecins, une série d'expériences avec la grande machine de Teyler.

Ils ont reconnu que le nombre des pulsations du pouls est sensiblement le même avant, pendant et après l'électrisation, quelle que soit d'ailleurs sa nature; que la transpiration, loin d'être augmentée, est plutôt diminuée par l'influence de l'électricité, et qu'il n'y a aucune apparence d'élévation de température tant que dure l'électrisation.

898. On s'était imaginé aussi que l'électricité accélérait la circulation du sang, en raison des effets produits quand l'eau électrisée s'écoule par des orifices capillaires; mais la comparaison n'était pas exacte. Voici, au reste, l'expérience sur laquelle on s'est fondé pour soutenir cette assertion. Boeclère, à Strasbourg, ayant placé sur un isoloir et électrisé une personne à laquelle on avait ouvert la veine; pendant tout le temps de l'électrisation, le jet du sang était vif, dilaté, et s'étendait assez loin; mais, dès l'instant que l'on faisait communiquer le patient avec le sol, le jet perdait insensiblement de sa vitesse et de son amplitude. Ces effets se conçoivent parfaitement d'après le principe sur lequel nous nous sommes appuyé pour expliquer l'accélération de l'écoulement des liquides par les orifices capillaires; ils ne prouvent nullement que l'électricité active la circulation du sang dans les vaisseaux, quand il n'y a pas d'ouverture extérieure, attendu que, lorsque cette ouverture n'existe pas, toute l'électricité se porte à la surface du corps.

899. En général, quand le fluide électrique traverse un corps, il exerce une action répulsive sur toutes ses parties. Si son énergie est suffisante pour vaincre la force

d'agrégation ou l'affinité des molécules, le corps se trouve brisé en mille parties fondues ou volatilisées, suivant sa nature, ou entièrement décomposées. C'est ainsi que MM. Prevost et Dumas, en faisant passer une étincelle électrique à travers une petite goutte de sang, ont observé que celle-ci prenait un aspect framboisé, annonçant la séparation partielle des globules élémentaires qui la composaient. En opérant de la même manière sur un liquide contenant des animalcules spermatiques, des infusoires, ils ont reconnu que leur mouvement spontané était détruit. Cette observation doit être prise en considération par les personnes qui cherchent à appliquer l'électricité à l'art de guérir, si elles ne veulent pas courir la chance de faire naître des désordres dans l'économie animale.

900. D'un autre côté, les parties animales ne possèdent pas toutes également le même pouvoir conducteur, et même elles cessent de transmettre l'électricité quand elles sont parfaitement desséchées. Voilà ce que nous observons après la mort. Les liquides dont elles sont imprégnées sont donc la cause déterminante de leur conductibilité.

901. On a avancé que les nerfs, pendant la vie et quelque temps après la mort, ont un pouvoir conducteur qui leur est propre, et qui est supérieur à celui des autres organes. Le fait paraît probable, mais il n'a pu être établi jusqu'ici que sur des inductions dont nous parlerons bientôt.

902. La grenouille, en raison de sa grande irritabilité, est l'animal dont on se sert ordinairement pour étudier les effets physiologiques de l'électricité. Pour la préparer convenablement, on coupe la colonne dorsale un peu au-dessous des pattes de devant ; après avoir séparé la partie antérieure et écorché l'autre partie, on enlève les chairs qui entourent la colonne, de manière que les cuisses ne tiennent à celle-ci que par les nerfs lombaires, comme l'indique la fig. 39. La grenouille, ainsi préparée, est suspendue par la colonne vertébrale à peu de distance d'une machine électrique en mouve-

ment; si l'on touche un des nerfs cruraux à l'instant où l'on tire des étincelles de la machine, les muscles sont agités par de fortes convulsions. Cet effet est le résultat du choc en retour. Telle est l'expérience fondamentale qui a servi de point de départ à Galvani pour faire ses importantes découvertes.

Si l'on fait passer à travers les muscles et les nerfs la décharge d'une bouteille faiblement chargée, on obtient des effets semblables. Il en est encore de même quand l'électricité transmise émane d'une source quelconque, pourvu que sa tension ait une certaine intensité. Passons en revue les effets produits par des électricités provenant de diverses origines.

903. Commençons par l'action des courants thermo-électriques qui sont dus à une électricité à faible tension. On prend un fil de platine dont les deux bouts sont enroulés en spirale, et, après avoir posé les cuisses de la grenouille sur une lame de platine, on chauffe jusqu'au rouge l'une des spirales, que l'on porte aux points d'attache des deux nerfs et de la colonne vertébrale, tandis que l'autre spirale est mise en contact avec la lame de platine; les cuisses éprouvent aussitôt les plus violentes contractions, lesquelles sont dues non-seulement à l'irritation causée aux nerfs par le métal incandescent, mais encore au courant électrique produit par la différence de température entre les deux spirales. En répétant l'expérience d'une manière inverse, c'est-à-dire en mettant en contact les nerfs avec la lame de platine, et touchant les muscles avec la spirale incandescente, les contractractions sont très-faibles. Pour bien observer l'effet dû à l'action du courant thermo-électrique, il ne faut commencer l'expérience que lorsque la grenouille a perdu assez de son excitabilité pour ne plus se contracter, en touchant les nerfs avec la spirale incandescente, sans fermer le circuit.

904. Passons aux contractions produites par l'action de l'électricité dégagée dans les actions chimiques. On pose, sur une lame de verre, une grenouille préparée;

une lame de platine est mise en contact avec les nerfs et une autre avec les cuisses; l'extrémité libre de la première plonge dans une capsule contenant un acide, et l'extrémité libre de la seconde dans une autre capsule remplie d'une solution alcaline. Dès l'instant que la communication est établie entre l'acide et l'alcali, au moyen d'une mèche de coton, la réaction chimique commence, et les muscles se contractent vivement et beaucoup plus fortement qu'en employant les excitants ordinaires. Après deux ou trois contractions au plus, les cuisses ne sont plus agitées, mais vient-on à enlever la mèche de coton, les contractions se manifestent de nouveau, si l'animal toutefois possède une excitabilité suffisante. Ces effets, qui se reproduisent toutes les fois que l'on établit et que l'on interrompt le circuit, pourvu que l'action ne soit pas prolongée, sont dus incontestablement à l'électricité dégagée dans la réaction de l'acide sur l'alcali, laquelle passe, par l'intermédiaire des lames de platine, dans les nerfs et les muscles. Cette expérience prouve donc que toutes les fois que les muscles et les nerfs sont mis en communication *avec deux substances conductrices de l'électricité, réagissant chimiquement l'une sur l'autre, il y a toujours contraction*. L'effet est le même quand ces deux substances, au lieu de réagir chimiquement, sont attaquées par les liquides adhérents aux parties animales. Ce dernier effet a été mis en évidence par Galvani, qui, ayant armé les nerfs d'une feuille d'étain, plaça les cuisses sur une lame de cuivre, et mit en contact les deux métaux. Les contractions se manifestèrent aussitôt avec énergie. L'effet est dû à l'action du courant produit dans la réaction sur l'étain du mucus qui adhère aux nerfs. Suivant Volta, il doit être attribué au contact des deux métaux; mais nous pensons que l'action chimique est la cause déterminante, puisque, lorsqu'un des métaux qui forment les armatures n'est pas attaqué par ce mucus, il n'y a aucun effet de produit; comme le prouve l'expérience suivante : on pose les muscles d'une grenouille sur une lame d'or et les nerfs sur une lame de

platine, et l'on établit la communication entre les deux lames avec un fil d'or ou un fil de platine; il n'y a pas de coutraction, si les surfaces métalliques sont très-nettes; car, pour peu que l'une d'elles ait été frottée avec un morceau d'un métal oxidable, les muscles se contractent à l'instant où l'on ferme le circuit. En remplaçant l'une d'elles par une lame de zinc, de fer ou d'un métal oxidable, les muscles se contractent aussitôt avec violence; ainsi la réaction sur le métal oxidable du mucus, ou autres liquides adhérents aux parties animales, dégage assez d'électricité pour produire les contractions.

Il n'est pas besoin de faire traverser le courant électrique dans les muscles et les nerfs, pour avoir les contractions : il suffit de le faire passer seulement dans une partie du nerf; l'effet a lieu, quelque rapprochés que soient les deux conducteurs.

905. Nous voyons bien, d'après les expériences précédentes, que les courants électriques qui parcourent les nerfs affectent les cuisses; mais ils jouissent encore de la propriété de faire contracter les muscles de la vie organique, lors même que le courant n'agit plus sur eux. M. de Humboldt a mis ce fait en évidence de la manière suivante : le cœur d'une grenouille était tellement affaibli qu'on n'y observait plus qu'une pulsation en 4 minutes. Toutes les irritations mécaniques ne produisaient aucune accélération. L'ayant soumis à l'action d'un courant, puis abandonné à lui-même, les pulsations se manifestèrent de la manière suivante :

Dans la 1re minute..	35 pulsations.
2^e^	31
3^e^	23
4^e^	12
5^e^	3

Dans une autre expérience, le nombre des pulsations fut de 25 par minute; l'effet dont il est ici question est particulièrement bien marqué sur les poissons.

906. Pour compléter ce que nous venons d'exposer touchant l'action des courants voltaïques provenant d'un seul couple pour produire les contractions, nous rapporterons les observations qu'Aldini a faites sur de grands animaux, et celles que nous devons à MM. de Humboldt et Achard de Berlin sur les insectes et sur l'homme.

Aldini ayant pris la tête d'un bœuf récemment assommé, enfonça dans l'une des oreilles un de ses doigts humectés d'eau salée, tandis que l'autre main soutenait une grenouille préparée de manière que sa moelle épinière touchait le dessus de la langue du bœuf. Les contractions commencèrent aussitôt et furent très-vives. Cet effet doit être attribué à l'électricité résultant de la réaction de la moëlle épinière sur le liquide adhérant à la surface de la langue.

Ayant formé un arc humide, au moyen de deux ou trois têtes de veau nouvellement détachées du tronc, il trouva que les contractions étaient plus fortes que lorsqu'il n'employait qu'une seule tête. Cet effet est facile à expliquer; dans le premier cas plusieurs actions concouraient à l'effet général.

L'application seule des nerfs sur les muscles, sans l'intermédiaire d'autres corps, produit des contractions. Cette expérience, qui a été conçue par Galvani et exécutée par Aldini, se fait de la manière suivante fig. 41 : on prend une grenouille préparée comme à l'ordinaire, et tandis qu'une main soutient la moelle épinière, l'autre saisit l'un des pieds et fait ployer la jambe, de manière que les muscles de celle-ci touchent les nerfs cruraux; à l'instant du contact, il en résulte de vives contractions. Cet effet n'a lieu qu'autant que les grenouilles sont robustes, pleines de vitalité, et que les muscles ne sont pas surchargés de sang. Les nerfs doivent être préparés avec toute la promptitude possible.

On ne peut, dans l'état actuel de la science, rapporter cet effet qu'à la réaction l'un sur l'autre des deux liquides différents qui adhèrent aux muscles et aux nerfs.

907. M. de Humboldt ayant appliqué une feuille d'étain sur le cordon médullaire d'une sangsue, un conducteur d'argent sur une autre partie du corps, puis ayant établi la communication, il en résulta des contractions et même l'extension de tout le corps.

Les lombrics ont éprouvé des effets semblables, ainsi que de petits vers aquatiques.

Les cuisses de la grande guêpe se sont contractées sous l'action d'un courant produit par un seul couple.

908. Achard de Berlin a senti distinctement un accroissement dans le mouvement péristaltique, lorsqu'après avoir appliqué sur la langue un morceau de zinc, il introduisit dans l'anus un morceau d'argent; le sphincter est entré en contraction, et il en est résulté une déjection de matières fécales.

M. de Humboldt s'est servi de ce moyen pour rappeler à la vie une linotte, à l'instant où elle allait expirer; ses yeux étaient déjà fermés et elle ne se soutenait plus sur ses jambes. Il lui plaça une petite lame de zinc dans le bec et une d'argent dans le rectum; puis la communication fut établie entre les deux métaux avec une tige de fer. A l'instant du contact, l'oiseau ouvrit les yeux et se releva sur ses pattes en battant des ailes; il respira pendant six ou 8 minutes et expira ensuite tranquillement.

909. Jusqu'ici il n'a été question que des effets produits par des courants électriques provenant d'un seul couple voltaïque, mais il est bon aussi de montrer ceux que l'on obtient quand on emploie l'action d'un appareil composé d'un certain nombre de ces éléments. A l'époque des grandes découvertes de Galvani et de Volta, les physiciens et les physiologistes, à l'envi les uns des autres, multiplièrent les expériences relatives à l'action de courants intenses sur l'économie animale, dans l'espoir de prouver que les effets produits étaient entièrement semblables à ceux de la vitalité. Ils obtinrent alors des effets de contraction si extraordinaires qu'ils rappelaient

les phénomènes de la vie. Nous allons en donner quelques exemples.

La tête d'un bœuf récemment assommé, et séparée du tronc, ayant été soumise par Galvani à l'action d'une pile à colonnes, de cent couples d'argent et de zinc, chargée avec une solution de sel marin, on introduisit dans l'une des oreilles l'extrémité d'un fil de métal en communication avec une des extrémités de la pile, et dans les naseaux un autre fil de métal communiquant avec l'autre extrémité : on vit aussitôt les yeux s'ouvrir, les oreilles se secouer, la langue s'agiter et les naseaux s'enfler; des résultats semblables furent obtenus sur divers animaux.

Aldini a remarqué que la combinaison la plus favorable aux contractions musculaires, est celle que l'on obtient en établissant l'arc des oreilles à la moelle épinière. Dans ce cas, l'œil est affecté au point que les paupières s'ouvrent tout à fait, que le globe roule sur lui-même, comme dans la plus violente fureur.

910. En opérant encore sur un bœuf récemment tué, et établissant une communication métallique entre les deux oreilles et la pile, les extrémités éprouvèrent des contractions très-fortes; la tête ayant été enlevée, on forma un arc de la moelle épinière au diaphragme et au sphincter de l'anus. Dans le dernier cas, il y eut de fortes contractions; dans le second, il se produisit une déjection de matières fécales.

Des poulets vivants ayant été soumis à l'action d'une pile de 50 plaques d'argent et de zinc perdirent peu à peu leurs forces, et étaient presque sur le point d'expirer; l'opération ayant été interrompue, ils déployèrent aussitôt les ailes. On en fit la dissection; on trouva du sang extravasé dans les muscles et un mélange d'humeurs dans diverses parties; les intestins étaient déplacés de leur siége ordinaire et refoulés vers le bassin.

Des expériences ont été faites sur l'excitabilité du cœur de différents animaux; des observateurs ont obtenu des

résultats négatifs, d'autres sont parvenus à le faire contracter; il faut conclure de là que cet organe perd en très-peu de temps, et bien plus tôt que les autres, la faculté d'obéir au pouvoir de l'électricité.

911. Zanotti de Bologne a obtenu, sur les insectes, des résultats remarquables, que nous ne devons pas oublier de rapporter ici. Ayant tué une cigale, il la mit en contact avec les deux extrémités d'une pile; aussitôt le mouvement et le son qui lui sont propres se manifestèrent.

912. Des poissons ont présenté des effets remarquables. On en a vu auxquels on avait coupé la tête, une demi-heure auparavant, frapper avec la queue, quand elle était excitée par un courant électrique, de manière que tout le corps sautait assez haut sur la table où ils étaient posés.

913. On ne s'est pas borné à étudier l'action de l'électricité voltaïque à forte tension sur les animaux, on a cherché aussi à connaître celle qu'elle exerce sur l'homme.

Nous avons vu plus haut que, lorsqu'on ferme le circuit, la grenouille se contracte deux ou trois fois au plus et reste ensuite tranquille jusqu'à ce qu'on interrompe la communication métallique. M. de Humboldt a voulu faire l'expérience sur lui-même, désirant voir en même temps si les sensations produites avaient quelque durée. Il se fit appliquer, en conséquence, deux vésicatoires sur chacun des muscles deltoïdes. Sur l'une des plaies il appliqua une grande plaque d'argent et sur l'autre une plaque de zinc. A l'instant de la communication entre les deux métaux, les muscles de l'épaule et du cou se contractèrent alternativement et M. de Humboldt éprouva une forte cuisson, aussitôt que la vessie formée par le vésicatoire fut ouverte. Il distingua très-bien trois ou quatre coups simples; les deux plaies étant restées une demi-heure à l'air et le réseau de Malpighi s'étant endurci, ce qui avait affaibli la conductibilité, le contact métallique ne produisit plus qu'une seule con-

traction. Une preuve que l'effet provenait de la réaction chimique des liquides qui humectaient les plaies, sur l'un des métaux, c'est qu'en répandant quelques gouttes d'une solution alcaline sur l'un des métaux, les douleurs devinrent très-violentes et les contractions se renouvelèrent plusieurs fois de suite dans l'espace d'une ou deux secondes, tandis que la cuisson se prolongea sans interruption et au même degré tant que le circuit resta fermé. Cette sensation douloureuse, cette cuisson était due très-probablement à la réaction sur les chairs vives, des acides et des alcalis séparés par l'action voltaïque et transportés sur les lames métalliques.

Si l'on plonge l'une et l'autre main dans une solution d'eau salée, et qu'on les mette en contact avec les extrémités d'une pile en activité d'une trentaine d'éléments, on éprouve aussitôt une commotion qui s'étend presque jusqu'au poignet ou au coude, selon l'intensité de la décharge. En mettant dans chacune des deux mains un cylindre de métal mouillé, assez gros pour la remplir entièrement, l'effet est assez marqué. Si le contact est maintenu pendant quelque temps, on éprouve ensuite une sensation désagréable, analogue à celle d'un frémissement. Lorsque plusieurs personnes se donnent la main, la première et la dernière étant en communication avec les extrémités de la pile, la commotion est éprouvée à la fois par toutes d'une manière assez sensible, surtout si le nombre des personnes est peu considérable. Mais l'effet diminue d'intensité, à mesure que l'on augmente le nombre des personnes intermédiaires. Ces expériences jettent peu de lumière sur les contractions en général, attendu que les effets sont très-bornés; si l'on veut les étendre, il faut agir, comme Aldini et d'autres physiciens l'ont fait, sur des sujets qui se trouvent dans le plus haut degré de conservation des forces vitales après la mort, avant que le sang soit coagulé. Les suppliciés réunissent à cet égard les conditions désirées.

914. Le docteur Andrew Ure a fait des expériences du même genre sur le corps d'un pendu, immédiatement

après l'exécution (1), avec une pile voltaïque composée de 270 paires de plaques de quatre pouces et chargée avec de l'eau renfermant de l'acide sulfurique et de l'acide nitrique. Les résultats qu'il a obtenus sont tellement saillants que nous devons les mentionner ici.

La moitié de la première vertèbre cervicale ayant été enlevée, on mit à nu la moelle épinière, puis on fit une incision à la hanche gauche, afin de rendre visible le nerf sciatique. Un des conducteurs de la pile fut mis en contact avec la moelle épinière, tandis que l'autre conducteur fut appliqué sur le nerf sciatique. A l'instant même tous les muscles du corps furent agités de mouvements convulsifs. Le côté gauche fut plus vivement affecté que les autres parties, chaque fois que l'on établissait la communication. En faisant mouvoir le second conducteur de la hanche au talon, le genou ayant été plié préalablement, la jambe fut lancée avec tant de violence qu'elle faillit renverser un des assistants qui essayait en vain d'en prévenir l'extension.

Dans une autre expérience, on mit à nu le nerf phrénique, qui se rend au diaphragme et communique avec le cœur au moyen de la huitième paire; dans l'espoir de renouveler le jeu de la respiration, on fit une petite incision sous le cartilage de la septième côte; l'un des conducteurs fut mis en contact avec le diaphragme et l'autre avec le nerf phrénique du cou. Ce muscle, qui est le principal agent de la respiration, se contracta, mais pas aussi fortement que s'y attendait M. Ure; il eut recours à un autre mode d'expérimentation pour imiter le phénomène de la respiration. Il avait souvent eu l'occasion de remarquer que, pour obtenir une excitation galvanique puissante, il fallait, tout en laissant le conducteur parfaitement en conctact avec les parties sur lesquelles on voulait opérer, promener le bout du fil auquel les conducteurs étaient attachés le long des

(1) **Annal. de Ch. et de Phys., t. XIV, p. 337.**

plaques plongeant dans les auges extrêmes, afin de multiplier les secousses; en opérant ainsi, la respiration s'établit d'une manière régulière, forte, mais pénible; la poitrine se souleva et retomba; le ventre fut poussé en avant et s'affaissa ensuite; le diaphragme se dilata et se contracta. Les résultats de cette expérience furent si remarquables que les assistants crurent un instant au retour de la vie dans ce corps mutilé. Le cœur et le pouls demeurèrent immobiles, peut-être à cause de l'évacuation d'une partie du sang et de la coagulation de l'autre.

Le nerf supra-orbital ayant été mis à découvert, fut mis en communication avec l'un des conducteurs, et l'autre conducteur fut placé au talon; tous les muscles de la face furent mis simultanément en action d'une manière effroyable; toutes les fois que l'on promenait l'un des fils, comme dans l'expérience précédente, les grimaces étaient si extraordinaires que des spectateurs furent forcés de quitter l'appartement à cause de leur effroi et de leur malaise; un d'eux perdit même connaissance.

Dans une dernière expérience, le courant électrique fut dirigé de la moelle épinière au nerf uluaire, qui passe par le condyle interne au coude; on vit aussitôt les doigts se mouvoir avec agilité.

915. La tête d'un décapité ayant été soumise à l'action d'une pile de 100 paires, dont les extrémités se trouvaient en communication avec l'intérieur des deux oreilles, humectées d'eau salée, les muscles du visage éprouvèrent de fortes contractions et l'action des paupières fut même très-marquée.

Les muscles de l'avant-bras et les parties tendineuses du métacarpe ayant été mis à nu, on établit un arc de la moelle épinière à ces muscles. Le bras fut soulevé. En établissant un arc entre les biceps de chaque bras, on obtint des contractions analogues.

Aldini ayant établi la communication entre la moelle épinière et les muscles vaste externe, vaste interne, couturier et autres, a obtenu des mouvements très-vifs dans

chacun d'eux. Quand l'action de la pile cessait, les muscles conservaient encore une oscillation pendant dix minutes.

Voici les effets obtenus également dans l'homme après la mort naturelle : Aldini ayant mis en contact la main d'un cadavre humecté d'eau salée avec la base d'une pile, il établit un arc métallique partant d'une oreille et se rendant au sommet de la même pile. Il fit aussi l'expérience en plongeant les deux mains du cadavre dans deux bains d'eau salée, communiquant avec les extrémités opposées d'une pile. Il en résulta des contractions tantôt au doigt, tantôt à la main, tantôt au bras droit. Les résultats variaient selon l'âge et la température.

916. Richerand s'est appliqué plus particulièrement à déterminer dans quelles circonstances les contractions s'affaiblissent dans l'homme par l'effet des maladies. Il semble résulter de ses observations que la contractilité musculaire s'éteint peu à peu par les mouvements convulsifs au milieu desquels les animaux à sang chaud rendent les derniers soupirs ; que si, dans ceux à sang froid, la contractilité est plus vive et plus durable, cette propriété peut être mise en action par le courant, longtemps après la mort : c'est sans doute parce que, chez ces animaux, la vie est plus partagée dans différents organes qui ont moins besoin d'agir les uns sur les autres pour l'exécution des contractions.

Nous n'osons admettre ni combattre ces allégations, parce que nous n'avons jamais été à même de vérifier l'exactitude des expériences rapportées par Richerand. Cependant nous avons cru devoir les consigner ici, dans l'espoir que les physiciens voudront bien les soumettre à un examen sévère.

§ IV. *De la sensibilité électrique de la grenouille, comparée à celle du multiplicateur, et d'un procédé pour faire des expériences comparatives.*

917. M. Nobili, ayant étudié la nature du courant qui produit la contraction dans la grenouille par l'application des muscles sur les nerfs, a reconnu que le nerf fournit l'électricité positive et le muscle l'électricité négative; en faisant donc communiquer le muscle et le nerf de la manière indiquée par Aldini, on a un courant qui parcourt la grenouille des pieds à la tête. Ce courant est appréciable à un multiplicateur très-sensible, que l'on introduit dans le circuit. On obtient quelquefois une déviation de 5°.

Les contractions dues au courant de la grenouille n'ont lieu en général que lorsqu'on établit le circuit; cependant, quand la grenouille a une grande vigueur, on l'obtient également en le rompant.

M. Nobili a constaté que la grenouille possède quelquefois cette propriété pendant un quart d'heure; mais, dans tous les cas, elle perd son excitabilité avant sa faculté électrique, qu'elle conserve pendant plusieurs heures, comme on peut le voir avec le multiplicateur. Pour rendre plus sensibles les effets du contact de la grenouille, prenons une grenouille fraîchement préparée, et mettons-la dans le circuit d'une autre grenouille préparée depuis longtemps, et ayant perdu par conséquent une partie de son excitabilité; on verra aussitôt la grenouille nouvellement préparée se contracter quand elle sera disposée dans le même sens que l'autre, et rester tranquille, au contraire, quand elles auront une position inverse. Dans le premier cas, les deux courants, cheminant dans le même sens, s'ajouteront; dès lors, la contraction a lieu sur celle des deux grenouilles qui, en raison de son excitabilité, peut la manifester : dans le cas contraire, les deux courants vont en sens inverse, et ne donnent qu'une différence d'effets incapable de

déterminer la contraction, mais appréciable au multiplicateur. Cette expérience prouve aussi qu'un courant électro-chimique doit avoir une certaine énergie pour produire le phénomène.

918. Il semblerait résulter des expériences précédentes, que le multiplicateur serait un meilleur indicateur des courants que la grenouille; mais il n'en est pas toujours ainsi, comme on va le voir.

Les courants continus sont partagés, comme on sait, en deux classes; courants hydro-électriques, courants thermo-électriques. Les premiers peuvent être produits de deux manières, soit avec des conducteurs humides seulement, soit avec deux conducteurs humides et un métal. Servons-nous successivement de chacun de ces courants pour comparer le multiplicateur et la grenouille. Voici les résultats qu'on en déduit :

Comparaison avec les courants hydro-électriques de 1re classe.

M. Nobili a placé la grenouille de manière que les pattes trempaient dans une tasse remplie d'eau et le tronc dans une autre remplie de même liquide; puis il a fermé le circuit avec un petit cordon de coton, humecté de ce liquide. Dans ce circuit il n'entrait aucune substance métallique. Quand la grenouille est fraîchement préparée, les contractions ne manquent presque jamais à l'instant où l'on forme le circuit. L'effet est dû évidemment à la seule combinaison des conducteurs humides. En introduisant un multiplicateur dans le circuit, M. Nobili obtenait une déviation de plusieurs degrés, comme on l'a vu plus haut; mais en augmentant le volume de l'eau, l'aiguille aimantée restait stationnaire.

Comparaison avec les courants hydro-électriques de 2e classe.

Il attendit qu'une grenouille ne donnât plus signe de

mouvement sous l'action de son propre courant, il introduisit ensuite dans le circuit un élément voltaïque suffisamment affaibli pour ne plus agir sur le multiplicateur. La grenouille se contracta, sinon toujours, du moins souvent, toutes les fois que le courant allait des pieds à la tête. On voit par là que la supériorité que la grenouille possède dans le cas des courants hydro-électriques de deuxième classe, se soutient dans ceux de première classe.

Troisième comparaison. Courants thermo-electriques.

Les courants thermo-électriques sont très-sensibles au multiplicateur, tant qu'ils parcourent un circuit tout métallique; mais aussitôt qu'on les fait traverser des conducteurs humides, ils sont à peine sensibles et même finissent par disparaître si l'on augmente l'étendue du liquide, comme on peut s'en assurer avec le fil du multiplicateur, dans lequel la continuité de l'une des parties est interrompue par un liquide. Supposons que l'intervalle liquide soit assez étendu pour qu'il n'y ait pas d'action sur l'aiguille aimantée, quand on chauffe l'un des bouts du fil. Si dans le même circuit on place une grenouille convenablement préparée, et que l'on mette en contact l'extrémité froide du fil de cuivre du multiplicateur avec l'extrémité chaude, la grenouille se contractera vivement, et l'aiguille du multiplicateur restera stationnaire. On voit donc, dans ce cas, que la grenouille est un indicateur plus délicat que le multiplicateur. D'après cela, s'il est question de courants qui peuvent, comme les courants thermo-électriques, se maintenir dans des circuits métalliques, alors le multiplicateur a l'avantage sur la grenouille; mais aussitôt que l'on fait entrer dans le circuit thermo-électrique un conducteur liquide, la grenouille se trouve de nouveau être plus sensible que le multiplicateur.

919. Dans les expériences de contraction où nous avons opéré avec un seul arc métallique, les résultats

n'étaient pas comparables, puisque nous n'avons pas toujours opéré dans les mêmes circonstances. Ces résultats, effectivement, devaient varier suivant que les surfaces métalliques étaient plus ou moins décapées et les parties animales plus ou moins humectées. C'est là un inconvénient très-grave dans la discussion d'une question qui intéresse au plus haut degré la physiologie. Pour y parer, nous avons imaginé un mode d'expérimentation, dont nous allons donner la description, qui permet d'agir avec un courant d'une intensité constante, passant par des surfaces métalliques de contact toujours égales et homogènes.

Il faut employer à cet effet l'appareil à courant constant, qui se compose de deux petits bocaux en verre, contenant l'un de l'acide nitrique concentré, l'autre une solution de potasse également concentrée; ces deux petits bocaux communiquent avec un tube recourbé, rempli d'argile humide. Dans chacun des liquides plonge une lame de platine; à chacune d'elles est fixé un fil de même métal, destiné à transmettre le courant électrique qui résulte de la réaction lente de l'acide et de l'alcali sur l'eau qui humecte l'argile. A l'extrémité libre de chaque fil on fixe une lame de platine, destinée à être placée sur la partie animale que l'on veut soumettre à l'action de l'électricité. Cette partie est recouverte d'une petite feuille d'or battu, qui s'applique exactement dessus, avantage que l'on n'a pas en employant pour armatures des lames de métal ne possédant pas autant de flexibilité. Avant de commencer une série d'expériences, il faut avoir l'attention de s'assurer si réellement les feuilles d'or sont parfaitement identiques, c'est-à-dire, si en mettant en communication les armatures des muscles et des nerfs de la grenouille avec un fil d'or ou de platine, on n'a aucune contraction. Les précautions que nous venons d'indiquer servent à faire disparaître une grande partie des anomalies que l'on observe fréquemment dans les phénomènes de contraction au moyen de l'électricité, puisqu'il y a homogénéité dans la nature et l'étendue des

armatures métalliques, ainsi que dans l'intensité du courant.

On néglige aussi souvent d'écarter une cause d'erreur qui influe singulièrement sur les résultats : lorsque l'on pose, par exemple, une grenouille préparée sur une lame de verre, et que les muscles et les nerfs sont armés, une portion de la décharge passe par la couche humide qui adhère au verre. On évite cet inconvénient en suspendant l'animal par la colonne vertébrale; les muscles et les nerfs ne communiquent alors ensemble que par l'intermédiaire de l'air, qui est trop mauvais conducteur pour exercer une influence.

920. Nous devons signaler encore une autre précaution, qui a été indiquée par M. Person, quand on se sert d'armatures de cuivre et de zinc. Ce jeune physicien a observé que la contraction est plus forte en ne touchant le zinc qu'en dernier lieu. Il est facile de se rendre compte de cet effet. En touchant d'abord le zinc, qui est meilleur conducteur que le liquide, on permet à une portion de l'électricité dégagée dans la réaction du liquide sur ce métal de s'écouler dans le sol; ce qui diminue d'autant la quantité qui doit entrer dans le circuit.

Pour faire disparaître les différences dépendantes de l'ordre des contacts, il faut tenir l'arc métallique avec un manche isolant.

921. Dans les expériences précédentes, nous avons fait passer le courant à travers le nerf, afin de l'irriter et de produire les contractions; mais, si on le fait passer seulement dans le muscle, à peine observe-t-on des mouvements fibrillaires, dus très-probablement à l'irritation produite par l'électricité sur les filets nerveux. Il suffit pour cela de poser le zinc sur les muscles de l'extrémité de la cuisse, et le cuivre sur les pattes. On voit donc qu'il faut réellement affecter le nerf pour produire la contraction.

Cependant, quand le courant est intense, il peut y avoir une convulsion générale, si les filets nerveux en-

gagés dans les muscles se trouvent sur le passage de l'électricité. Cet effet ne peut avoir lieu avec de faibles courants, parce que la dispersion qu'ils éprouvent dans un conducteur imparfait réduit à peu de chose la quantité qui passe par le nerf.

§ V. *De l'effet des alternatives voltaïques sur les contractions.*

922. Nous nous sommes borné jusqu'ici à décrire les phénomènes généraux relatifs aux contractions musculaires dues à l'action de l'électricité, afin que le lecteur saisît de suite leur ensemble; nous allons actuellement étudier les diverses circonstances de leur production, pour en déduire, s'il est possible, un principe à l'aide duquel on puisse les interpréter tous.

Les contractions cessant aussitôt que le courant est établi invariablement entre le nerf et le muscle correspondant, ce fait nous annonce que le passage de l'électricité dans les parties constituantes soit du nerf, soit du muscle, y produit une modification instantanée, qui subsiste pendant toute la durée du courant. D'un autre côté, la contraction, qui a lieu ordinairement lorsque l'on interrompt le circuit, indique la cessation de cette modification et le retour des parties constituantes à leur position naturelle d'équilibre. Nous examinerons plus loin quelle peut être cette modification que le physiologiste a un si grand intérêt à connaître pour interpréter certains phénomènes de la vie.

Volta, pour expliquer l'effet résultant de l'action continue du courant sur la grenouille, supposait que le nerf se paralysait au point d'enlever momentanément au muscle la faculté de se contracter; mais nous n'envisageons pas le phénomène sous le même point de vue; voici nos motifs : lorsqu'un courant traverse un corps quelconque, organisé ou non, il tend à écarter ses parties constituantes jusqu'au point de les séparer entièrement, si son intensité a suffisamment d'énergie pour

vaincre la force d'agrégation et l'action des forces vitales. Tant que dure le passage du courant dans le nerf et le muscle adjacent, les particules organiques sont distendues, elles se trouvent dans un état de tension forcé. Si le courant est interrompu, elles reprennent leur position naturelle d'équilibre, secondées qu'elles sont par l'action des forces vitales, quand elles ne sont pas détruites, d'où résultent des contractions : celles-ci ne se manifestent donc qu'à l'instant où le nerf change d'état, c'est-à-dire, lorsque l'on ferme ou l'on rompt le circuit.

923. Analysons ce qui se passe quand l'action du courant persévère pendant quelque temps. Volta est le premier qui ait observé que, lorsque l'on soumet pendant une demi-heure à l'action du courant d'un appareil ordinaire les jambes d'une grenouille récemment tuée, chacune dans un vase séparé, elles ne se contractent plus quand on ouvre et qu'on ferme le circuit; en changeant la direction du courant, les effets de contraction recommencent. En continuant ainsi à intervertir le sens du courant pendant un jour entier, on peut annuler ou rappeler à volonté l'excitabilité des muscles de l'animal; c'est en cela que consiste le phénomène des alternatives. Cette expérience, dont nous allons analyser les résultats, nous indique que les modifications produites dans les nerfs et les muscles par le passage d'un courant ayant une certaine intensité et agissant pendant longtemps, ne doivent pas être considérées comme le résultat d'une désorganisation, puisque l'effet produit par un courant est détruit par l'effet du courant dirigé en sens contraire, mais bien comme celui d'un dérangement dans le mode de groupement des parties constituantes.

924. Lorsqu'un courant d'une certaine intensité a traversé pendant quelque temps les organes d'une grenouille, celle-ci devient insensible, avons-nous dit, à l'action de ce courant, tant que les parties organiques n'ont pas repris leur état d'équilibre; mais elles possèdent toujours la faculté de se contracter sous l'influence d'un courant plus énergique. En effet, deux appareils à cou-

ronne de tasse, de 50 couples chacun, ayant été montés avec de l'eau salée, quand l'un d'eux avait fonctionné pendant 40 minutes, et que la grenouille ne se contractait plus, en fermant le circuit on la soumettait à l'action de l'autre appareil, le courant étant dirigé dans le même sens; les contractions se produisaient aussitôt. Au bout de 25 minutes les effets cessaient, et se reproduisaient en employant l'autre pile, dont le circuit avait été interrompu, pour qu'elle reprît une partie de sa force primitive. Dans ce dernier cas, l'effet doit être attribué à l'accroissement de force du courant.

925. Bien qu'une grenouille qui a été soumise, pendant quelque temps, à l'action d'un courant continu, perde la faculté de se contracter et la recouvre par le repos, sa sensibilité se trouve cependant affaiblie; c'est ce que M. Marianini a prouvé de la manière suivante : ayant préparé deux grenouilles douées de beaucoup de sensibilité, l'une fut soumise à l'action d'un appareil de 40 couples, et l'autre fut laissée en repos. Une demi-heure après, celle-ci était encore sensible à l'action d'un seul couple, presque autant qu'auparavant, tandis que l'autre ne se contractait plus, même sous l'action de deux couples. Au reste, on prouve facilement, par l'expérience, que l'affaiblissement de la sensibilité de la grenouille est d'autant plus considérable, que le courant est plus fort; ce qui explique pourquoi la durée des effets résultant des alternatives voltaïques est en raison inverse de la force de l'appareil.

926. Dans l'animal vivant, il existe une force qui répare les atteintes portées par le courant aux organes du mouvement; car, lorsqu'une grenouille a été tourmentée par un courant jusqu'à ce que les contractions musculaires aient diminué sensiblement d'intensité, si on la laisse reposer quelque temps, elle recouvre sa force primitive, et les contractions reprennent leur vigueur, sans qu'il soit nécessaire de soumettre l'animal à l'action d'un courant contraire. Ce principe réparateur ne cesse pas entièrement avec la vie, il lui survit,

du moins en partie, pendant quelque temps; car des grenouilles soumises à l'action des courants électriques, quelques heures après leur préparation, présentent le phénomène des alternatives voltaïques, à périodes bien plus courtes que lorsque l'expérience est faite aussitôt après la mort. Ce principe réparateur, qui neutralise l'action destructive du courant, s'efface dans l'animal tué, en raison directe du temps qui s'est écoulé depuis sa mort; de sorte que c'est dans l'animal vivant où ce même principe jouit de sa plus grande énergie.

Nous devons faire remarquer que la volonté de l'animal peut influer aussi sur les effets des courants et même les contre-balancer; pour s'assurer de ce fait, il faut agir d'abord sur le membre faisant partie de l'animal et ensuite sur le même membre quand il en est séparé. Nous ne saurions donc trop recommander aux expérimentateurs d'avoir égard à l'état de vie, dans leurs recherches.

Si les courants affaiblissent l'irritabilité quand leur action est continue, ils peuvent au contraire la rétablir lorsqu'elle est instantanée et d'une intensité convenable. D'après Hallé, une grenouille qui avait été fatiguée au point de ne plus donner de contraction à l'instant de la communication, s'est agitée de nouveau, en fermant rapidement le circuit et l'ouvrant aussitôt.

Nous nous étendons beaucoup sur les effets des alternatives, parce qu'ils sont de nature à nous éclairer sur l'une des causes qui produisent les contractions; c'est-à-dire, sur la faculté dont jouissent les parties organiques des nerfs et des muscles, pendant la vie, et quelque temps après la mort, de perdre, avec une extrême facilité, leur position naturelle d'équilibre.

§ VI. *Analyse des effets produits quand on ferme et qu'on ouvre le circuit, et lorsqu'on change le sens du courant.*

927. La grenouille se contracte seulement quand on ferme et l'on ouvre le circuit, c'est un fait qui est bien

établi maintenant; mais quelle est la nature du courant qui produit la contraction dans le dernier cas? Volta est le premier qui ait entrepris de résoudre cette question; voici comment il s'explique, à l'égard des contractions en général, dans son Mémoire sur l'identité des fluides électrique et galvanique : « Une telle contraction n'a lieu « qu'à la première irruption du courant électrique, et « quelquefois aussi au moment où, par la rupture du « circuit, ce courant se trouve arrêté, ou plutôt refoulé « en arrière, comme on peut se le figurer, par l'obstacle « instantané qu'il rencontre. » L'illustre auteur de la pile, qui attribuait les contractions, à l'instant de l'interruption du circuit, à un reflux d'électricité, pensait que ce reflux produisait un courant dirigé en sens inverse. Cette conjecture, c'est-à-dire l'existence du courant inverse, a été mise depuis hors de doute par l'expérience suivante :

Si l'on prépare une grenouille de manière que les cuisses ne tiennent au tronc que par les nerfs lombaires seulement, et que l'on place le tronc dans une tasse remplie d'eau qui communique avec le pôle positif d'une pile, et les deux cuisses dans une autre tasse en communication avec le pôle négatif, toutes les fois que l'on ferme le circuit, la grenouille se contracte. En le rompant, au contraire, l'agitation est très-faible ou tout à fait nulle. Bien entendu que l'expérience ne doit commencer que lorsque la grenouille a perdu de son excitabilité et le courant de son intensité. En faisant l'expérience d'une manière inverse, les effets sont contraires. Ces faits prouvent donc, comme Volta l'avait avancé, que la contraction, produite à l'instant où l'on interrompt le circuit, est due à l'action d'un courant dirigé en sens inverse.

928. M. Marianini attribue la production de ce courant à une portion de l'électricité, qui, retenue dans le nerf même à cause de son imparfaite conductibilité, reflue aussitôt que le courant n'a plus lieu, et secoue les fibres auxquelles aboutit le nerf irrité. Il suppose donc

que les organes du mouvement, soit par un défaut de conductibilité, soit par une propriété particulière, ne transmettent pas tout le courant qui les pénètre, et en retiennent une portion qui va toujours en s'accumulant. Cette électricité accumulée dans les nerfs s'écoulerait ensuite en les parcourant dans une direction contraire, et les forcerait à se contracter aussitôt que le courant primitif aurait cessé. Cette manière de voir, que nous ne partageons pas à cause de l'accumulation de l'électricité, a de l'analogie avec celle de Volta.

929. M. Peltier a envisagé la question sous un autre point de vue. Reprenons l'expérience où les deux cuisses de la grenouille plongent chacune dans un vase rempli d'eau, communiquant ensemble avec une mèche de coton. Si on laisse circuler le courant pendant quelques minutes, les cuisses se polarisent absolument de la même manière que le font deux lames de platine plongées dans un vase rempli d'eau, et en communication chacune avec l'une des extrémités d'une pile. En effet, si, l'on enlève les deux lames de platine qui transmettent le courant, et que l'on plonge dans les deux vases d'autres lames de même métal, en communication avec le multiplicateur, on a un courant en sens inverse du premier, qui ne peut provenir assurément que de la polarisation des cuisses de la grenouille. M. Peltier infère de là que la contraction, qui a lieu à l'instant où l'on interrompt le circuit, est due à l'action du courant résultant de la polarisation des cuisses de la grenouille. Nous admettons, avec M. Peltier, les effets électro-chimiques qui polarisent les cuisses de la grenouille; mais ces effets qui produisent un courant, quand, après avoir retiré les deux lames de platine en communication avec la pile, on ferme de nouveau le circuit avec d'autres lames de platine, en donnent-ils un également lorsque le circuit n'est pas complété au moyen d'un arc métallique? C'est ce qui n'est pas démontré. Le lecteur verra plus loin comment nous concevons les contractions, non-seulement lorsqu'on ouvre, mais encore lorsqu'on inter-

rompt le circuit; au surplus, il a pu voir déjà que nous leur donnons une autre origine.

Voyons maintenant quels sont les effets physiologiques qui ont lieu lorsque le courant chemine dans une direction ou dans une autre.

Si l'on adapte, d'après Grapen Giesser, aux deux conduits auditifs de l'oreille les deux conducteurs d'une batterie, le conducteur positif excite un fort ébranlement avec bourdonnement dans l'organe auquel il correspond; tandis que l'autre occasionne une douleur pongitive. Si l'on place le conducteur positif sur la membrane de l'une des narines, et le conducteur négatif dans l'une des mains mouillées, on éprouve dans le nez une douleur incisive insupportable et une forte envie d'éternuer. En opérant d'une manière inverse, on ressent une douleur pungitive. Enfin le conducteur positif excite aussi sur les organes de la vue et du goût des irritations bien plus fortes que le conducteur négatif. Ces effets sont produits non-seulement à l'instant où l'on forme le circuit, mais encore pendant la durée de l'action voltaïque. En rompant le circuit les effets sont inverses.

Ritter a fait des observations qui confirment les précédentes. L'électricité du pôle positif, suivant lui, augmente les forces vitales, tandis que celle du pôle négatif les diminue; le premier tuméfie les parties, le second les déprime. Le pouls de la main tenu quelques minutes en contact avec le pôle positif est fortifié, tandis qu'il est affaibli s'il est en contact avec le pôle négatif. Dans le premier cas, suivant cet ingénieux physicien, on éprouve une sensation de chaleur, et dans le second un froid. Enfin, pour montrer la différence qui existe entre le mode d'action de chaque pile, nous dirons qu'il a observé, ou du moins qu'il a avancé, que les objets paraissent plus grands, plus brillants et rouges à un œil électrisé positivement qu'à l'œil électrisé négativement, qui voit ces objets plus petits, moins distincts et bleuâtres.

M. Marianini a précisé bien mieux que ne l'avaient fait ses devanciers, la différence qui résulte dans les effets

produits selon que le courant chemine dans le sens des ramifications nerveuses ou dans la direction opposée. L'expérience qu'il a faite à ce sujet est d'une telle importance pour la physiologie que nous allons la décrire avec tous les détails convenables.

930. On prend une grenouille préparée de manière que les membres inférieurs, unis ensemble, ne soient attachés au corps que par les nerfs cruraux mis à nu; l'animal n'est ni écorché, ni décapité, et les viscères restent intacts. Les membres inférieurs sont placés dans une tasse remplie d'eau, où aboutit le pôle négatif d'une pile composée de quelques éléments seulement, et les jambes de devant dans un liquide communiquant avec le pôle positif; de telle sorte que la tête et la poitrine de la grenouille sont appuyées sur le bord des deux vases. En fermant le circuit, les membres inférieurs de la grenouille se contractent, sans donner aucun signe de souffrance, quoiqu'elle reste soumise à l'action du courant pendant 20 minutes. Si l'on dirige le courant d'une manière inverse, elle s'agite, mais moins que la première fois, respire péniblement, se gonfle beaucoup, et même se met quelquefois à croasser; elle donne enfin tous les signes qui annoncent la douleur et la souffrance. La communication étant interrompue, elle se contracte, puis redevient tranquille, effet qui est dû évidemment à l'action d'un courant dirigé cette fois dans le sens des nerfs. Cette expérience intéressante peut être faite encore de la manière suivante : on prend une grenouille femelle très-vigoureuse, on l'étend, le dos appuyé sur une règle de bois, à laquelle on assujettit avec des liens séparés les quatre jambes, de manière à ne pas gêner sa respiration. On la prépare de manière que les membres postérieurs ne soient attachés seulement au corps que par les deux nerfs cruraux. Quand l'opération est terminée, la grenouille est détachée, la jambe droite antérieure liée avec une lame de plomb communiquant à l'un des pôles d'une pile; les deux jambes de derrière, unies ensemble, sont liées avec

une bandelette de plomb en communication avec l'autre pôle. Les jambes antérieures et le ventre de la grenouille sont placés sur une lame de verre, et leurs extrémités postérieures soulevées avec la main revêtue d'une enveloppe isolante. La grenouille étant parfaitement tranquille, on commence l'expérience. Quand le courant suit le nerf dans la direction de ses ramifications, la grenouille agite les extrémités inférieures, à l'instant que le circuit est fermé; elle pousse, au contraire, un cri prolongé quand on l'interrompt, et se soulève en même temps, avec des contorsions, sur les membres inférieurs, sans que l'on voie le moindre mouvement dans les extrémités inférieures. En changeant la direction du courant, les effets sont inverses. Cette expérience, vraiment remarquable, dont nous avons constaté nous-même à plusieurs reprises l'exactitude, peut être faite également avec l'appareil à courant constant, quand l'animal a beaucoup de vitalité.

En général, pour réussir complétement et surtout ne pas faire contracter l'animal avec le courant inverse, à l'instant où l'on ferme le circuit, il faut employer un appareil composé de quelques éléments seulement; car si le courant a de l'énergie, il surmonte les obstacles qui s'opposaient à la manifestation des contractions; c'est ce que M. Person a prouvé de la manière suivante : une grenouille ayant été fixée sur une planche de liége, il isola le nerf sciatique d'un côté et coupa la cuisse près du bassin, de manière que la patte n'était unie au corps que par le nerf; puis il établit un courant direct ou inverse à travers le nerf, à l'aide d'un appareil plus fort que celui dont on se sert dans les expériences galvaniques ordinaires. Dans les deux cas la patte s'est contractée, etc.

La propriété que nous venons de signaler a de l'analogie avec le fait déjà indiqué, savoir que, lorsqu'on pratique une section dans un nerf, si l'on excite la partie située au-dessus de la section, les contractions muscu-

laires ne se manifestent pas dans les membres supérieurs, c'est-à-dire, que la cause qui les détermine ne remonte pas, tandis que la sensation qui résulte de l'excitation se dirige vers le cerveau. Si l'irritation est portée au-dessous il y a contraction et point de douleur. On conçoit, dans ce cas, pourquoi les contractions ne se manifestent que dans les membres inférieurs. Ces membres, ne s'agitent que parce que le nerf qui est excité transmet aux rameaux nerveux les plus éloignés l'action qu'il a reçue, effet qui n'a pas lieu pour les membres supérieurs, qui ne se trouvent plus dans les mêmes conditions que les autres. Quant à la douleur qui est produite dans le premier cas, nous chercherons à en donner l'explication, en exposant la théorie des contractions.

931. Les effets physiologiques que nous avons exposés jusqu'ici tendent tous à prouver que le nerf est organisé de manière à propager certains mouvements dans le sens de ses ramifications; mouvements qu'il ne transmet que difficilement dans le sens opposé, d'où résulte alors un sentiment de douleur. Les effets produits sur le nerf, dans cette circonstance, ont de l'analogie avec ceux qu'éprouvent certains animaux, lorsqu'on les frotte dans le sens des poils ou à rebrousse poil. Autant ils paraissent se complaire dans le premier mode de friction, autant ils s'irritent et paraissent souffrir dans le second. Cette comparaison, quoique vulgaire, exprime assez bien les effets produits dans le nerf par le courant selon sa direction.

932. Dans les expériences relatives aux effets qui ont lieu suivant le sens du courant, nous n'avons nullement tenu compte de l'état d'excitabilité de la grenouille, qui influe singulièrement sur les effets. Pour parer à cet inconvénient, on peut suivre la méthode d'expérimentation qui a été adoptée par M. Nobili, laquelle consiste à ramener tous les effets à cinq conditions différentes, qui exigent à chaque instant quatre observations, et à opérer sur une grenouille préparée à la manière de Galvani, avec

cette différence, cependant, qu'on ne laisse à l'animal qu'un seul des deux nerfs cruraux, afin d'être certain de n'avoir aucun autre courant que celui que l'on introduit dans le nerf. Pour altérer, le moins possible, ce dernier, on emploie l'action d'un seul couple voltaïque.

Observations sur le nerf seul.

M. Nobili ayant appliqué instantanément, sur deux points du nerf, les extrémités de l'arc métallique, en ayant soin de ne pas toucher le muscle, a obtenu les résultats suivants :

1re PÉRIODE.

Courant direct (dirigé de la tête aux pieds).	*Courant inverse (dirigé des pieds à la tête).*
En fermant, — contractions.	En fermant, — contractions.
Circuit fermé, — rien.	Circuit fermé, — rien
En ouvrant, — contractions.	En ouvrant, — contractions.

Dans cette première période, la grenouille est très-excitable, de sorte que les contractions se manifestent aux deux époques sans différence sensible.

2e PÉRIODE.

Courant direct.	*Courant inverse.*
En fermant, — contractions fortes.	En fermant, — rien.
En ouvrant, — contractions faibles.	En ouvrant, — contractions faibles.

Dans cette période, le courant direct continue à produire des secousses, soit que l'on ferme ou que l'on ouvre le circuit, tandis que le courant inverse n'agit plus qu'à la dernière de ces deux époques.

3e PÉRIODE.

L'excitabilité de la grenouille s'étant encore affaiblie, on obtient les résultats suivants :

Courant direct.	*Courant inverse.*
En fermant, — contractions fortes.	En fermant, — rien.
En ouvrant, — contractions faibles.	En ouvrant, — contractions fortes.

4e PÉRIODE.

La vivacité de la grenouille étant encore plus faible, les résultats sont alors :

Courant direct.	*Courant inverse.*
En fermant, — contractions.	En fermant, — rien.
En ouvrant, — rien.	En ouvrant, — rien.

5e PÉRIODE.

Dans cette cinquième et dernière période, le nerf n'obéit à l'action du courant que dans le premier cas.

Interprétons maintenant les résultats obtenus dans les cinq périodes : dans les quatre cas de la première période, les contractions sont sensiblement égales; cela se conçoit, puisque l'excitabilité du nerf étant à son maximum, le muscle se contracte trop vivement pour que l'on puisse observer une différence. Dans la deuxième période, à la première époque, le nerf se trouve encore dans son état naturel, les contractions sont très-fortes en fermant le circuit, attendu que sa structure le rend propre à propager le fluide électrique; elles sont faibles, au contraire, pour le courant inverse.

Relativement aux effets produits dans les troisième, quatrième et cinquième périodes, pour les concevoir, il faut se rappeler que le nerf perdant de plus en plus de son excitabilité, les contractions les plus faibles doivent disparaître les premières, puis les autres ensuite. On ne doit pas considérer les résultats que nous venons de donner comme étant constamment les mêmes; car M. Nobili a reconnu lui-même, par de nombreuses expériences, que la loi des contractions n'est pas constante; qu'elle varie avec l'intensité du courant, et que les courants énergiques manifestent proportionnellement une action plus forte à la rupture qu'à l'établissement du circuit; que le contraire a lieu pour les courants faibles; enfin, que le nerf n'est excité par l'électricité que lorsque cet agent le fait passer brusquement de l'un à l'autre des trois états suivants : 1° état naturel avant l'action du

courant, 2° état d'altération inverse produit par la circulation du courant direct, 3° état d'altération inverse résultant de la circulation du courant inverse.

933. Tout ce que nous venons de dire sur les effets des alternatives, et sur ceux qui sont produits quand on ouvre et l'on ferme le circuit, montre combien l'étude des contractions produites au moyen de l'électricité, peut rendre de services à la physiologie, puisqu'elle nous révèle, dans les nerfs, un mode de constitution organique, qu'il aurait été bien difficile d'apercevoir sans l'emploi des forces électriques.

Avant de présenter une théorie des contractions, nous sommes obligé de faire connaître encore d'autres faits qui vont jeter quelque lumière sur cet important phénomène.

§ VII. *Des contractions tétaniques.*

934. M. Nobili, en opérant sur des grenouilles préparées à la manière de Galvani, en a reconnu quelques-unes dont les membres se roidissaient au point de se plier avec peine; c'est principalement sur les individus vigoureux qu'il obtenait ce tétanos; d'autres individus, au contraire, laissaient tomber leurs membres dans un état de relâchement et de souplesse absolus. Dans l'un et l'autre cas, les grenouilles se contractaient sous l'influence électrique : dans le premier cas, les mouvements étaient plutôt des contorsions que des contractions; dans le second, ce n'étaient que des contractions proprement dites. Il arrivait quelquefois que l'animal étendait ses membres et les roidissait, comme s'il allait éprouver une convulsion tétanique. Ces convulsions duraient longtemps, tandis que les contractions ordinaires cessaient immédiatement; cependant, il était possible de rendre ces dernières permanentes, de manière à produire le tétanos naturel. M. Nobili y est parvenu, en interrompant et rétablissant le circuit assez rapidement pour que la contraction, qui provenait d'un contact donné, ne s'évanouît

pas avant la production de celle qui était due au contact suivant. Quand on multiplie ainsi les contractions de la grenouille pour produire le tétanos, le nerf change continuellement d'état; il passe d'une manière brusque de sa disposition naturelle à une disposition altérée, et réciproquement. Il pourrait donc se faire que le tétanos naturel dépendît d'une cause semblable.

En étudiant une grenouille dans un état tétanique, M. Nobili a trouvé qu'elle persistait dans cet état, sous l'action d'un certain courant, et qu'elle détendait complétement ses membres sous l'action d'un courant contraire. Cet effet, qui est peut-être le résultat d'une surexcitation, ne se produit pas sur toutes les grenouilles frappées de tétanos; il paraît donc qu'il n'y a que celles qui se trouvent dans un état pathologique particulier qui présentent le phénomène d'une manière sensible.

CHAPITRE III.

DES POISSONS ÉLECTRIQUES.

§ Ier. *Phénomènes généraux.*

935. Si l'on découvre un jour que le fluide électrique intervient dans les phénomènes de la vie, ce sera en étudiant la propriété singulière que possèdent certains poissons, de donner, quand on les touche avec la main, une commotion semblable à celle de la bouteille de Leyde, et en méditant sur les conséquences que l'on peut en tirer pour la physiologie en général.

On distingue trois espèces de poissons, le gymnote, la torpille et le silure, qui jouissent de la propriété de donner une commotion, quand on les touche dans certaines parties, en les irritant. L'analogie est telle entre les effets de la commotion et ceux de la décharge de la bouteille de Leyde, que l'on ne dut pas se méprendre sur la cause des deux phénomènes, dès l'instant que l'électricité eut commencé à fixer l'attention des philosophes.

936. Nous avons rapporté, dans le 1er volume, la pêche des gymnotes, nous n'y reviendrons pas; nous rappellerons seulement que, lorsqu'ils ont été effrayés par le trépignement des chevaux, ils s'approchent timidement du bord des marais, où on les prend au moyen de petits harpons attachés à de longues cordes. Lorsque ces cordes sont bien sèches, on peut soulever le poisson

dans l'air sans éprouver de commotion. Si deux personnes soutiennent le gymnote avec la main droite, et qu'au lieu de donner la main gauche elles enfoncent chacune un stylet métallique dans une goutte d'eau placée sur un corps isolant, l'action n'est pas interceptée, tandis qu'elle l'est en substituant à l'eau une goutte d'alcool ou d'huile, qui ne conduit pas l'électricité. Ces faits nous prouvent que l'action qui détermine la commotion n'est pas transmise par les corps mauvais conducteurs de l'électricité.

Nous venons de voir que la commotion n'est pas transmise quand on touche l'animal avec un corps non conducteur de l'électricité : mais ce fait n'est pas le seul qui vienne à l'appui de l'origine électrique que l'on attribue aux phénomènes; il en existe bien d'autres, que nous allons faire connaître successivement.

Quand deux personnes, isolées ou non isolées, se donnent la main, et que l'une d'elles seulement touche le poisson, elles éprouvent l'une et l'autre la commotion; il arrive cependant quelquefois que les coups les plus vigoureux sont particulièrement ressentis par la personne qui entre en contact immédiat avec le poisson. M. de Humboldt n'a jamais pu apercevoir aucun phénomène d'attraction ou de répulsion électrique ni de lumière électrique, quoique Walsh, Ingenhouze et M. Faklberg, à Stockholm, aient aperçu une étincelle en plaçant le gymnote dans l'air, et interrompant la chaîne conductrice au moyen de lames d'or très-minces collées sur du verre, et éloignées d'une ligne. Il est digne de remarque que M. de Humboldt, qui a opéré sur des gymnotes dont les effets étaient des plus violents, n'ait pas aperçu de phénomènes lumineux au milieu d'une nuit obscure. M. Faklberg n'a pu observer aucune action à distance.

Nous ferons remarquer que la température des eaux dans lesquelles vivent les gymnotes est ordinairement de 26 à 27 degrés, et que l'on assure que la faculté qu'ils possèdent de donner la commotion diminue

dans les eaux froides; c'est une analogie de plus avec certaines propriétés électriques des corps, qui sont exaltées par la chaleur.

Le gymnote est le plus grand des poissons électriques connus. M. de Humboldt en a vu de 5 pieds 3 pouces de long, dans le caño de Béra, dont la couleur était d'un beau vert-olive et le dessous de la tête d'un jaune mêlé de rouge. Deux rangées de petites taches jaunes étaient placées symétriquement le long du dos, depuis la tête jusqu'au bout de la queue. Chaque tache renfermait une ouverture excrétoire, d'où sortait une matière muqueuse. Ce poisson est privé d'écailles, comme tous ceux qui possèdent la faculté de donner la commotion.

M. de Humboldt a remarqué qu'un gymnote de 3 pieds 10 pouces avait une vessie natatoire de 2 pieds 5 pouces de long, séparée de la peau extérieure par une masse de graisse, et reposant sur certains organes propres aux poissons électriques, qui remplit plus des deux tiers de sa capacité.

937. Voici les effets généraux que l'on obtient quand on touche l'animal: si l'on reçoit le coup avant qu'il soit blessé ou fatigué par une longue poursuite, la douleur et l'engourdissement qu'on éprouve sont si violents, qu'il est difficile de se prononcer sur la nature du sentiment qu'on éprouve.

M. de Humboldt n'a jamais reçu, suivant lui, par la décharge d'une grande bouteille de Leyde, une commotion plus énergique que celle qu'il a ressentie en plaçant immédiatement ses deux pieds sur un gymnote que l'on venait de retirer de l'eau. Il éprouva longtemps une vive douleur dans les genoux et dans presque toutes les jointures. Quand les gymnotes sont très-affaiblis, ils causent un tressaillement qui se propage depuis la partie appuyée sur les organes auxquels on attribue la faculté de lancer la commotion jusqu'à l'articulation voisine. Nous ajouterons que l'on croit sentir à chaque coup une vibration interne qui dure deux ou trois secondes, et à laquelle succède un engourdissement

douloureux, qui a de l'analogie avec le tressaillement dont M. de Humboldt a été saisi à chaque contact de deux métaux hétérogènes appliqués sur des plaies de vésicatoires qu'il s'était faites sur les deux muscles deltoïdes.

938. La cause, quelle qu'elle soit, qui donne la commotion, dépend de la volonté de l'animal, puisqu'il arrive quelquefois que l'on ne la ressent pas quand on tente, isolé ou non, de le toucher. Par exemple, M. de Bonpland le tenait quelquefois par la tête ou le milieu du corps, tandis que M. de Humboldt le soutenait par la queue; et, quoiqu'ils fussent placés sur un sol humide et ne se donnassent pas la main, l'un d'eux seulement recevait des secousses. Ils ont remarqué aussi que les mouvements musculaires les plus violents n'étaient pas toujours accompagnés de commotions. Il semble donc résulter de là, qu'il dépend du gymnote de n'agir que dans le point vers lequel il se trouve le plus fortement irrité.

L'observation suivante, qui a été faite à Philadelphie, puis répétée à Stockholm, par MM. John William et Fahlberg, sur de jeunes gymnotes transportés d'Amérique, met ce fait hors de doute : ces gymnotes, ayant jeûné longtemps, tuaient, de loin, les petits poissons qu'on plaçait dans le baquet. M. de Humboldt, à la vérité, n'a rien observé de semblable sur les gymnotes dans leur pays natal; mais il pourrait se faire que cette différence tînt à ce que le poisson, dans son trajet de Surinam à Philadelphie et à Stockholm, s'était habitué à la prison, et avait repris peu à peu dans le baquet les habitudes qu'il avait dans les rivières et les mares.

939. La torpille ou raie électrique a été l'objet d'un plus grand nombre d'expériences que le gymnote, parce que nous la trouvons assez facilement dans les mers qui baignent notre continent. Les expériences que nous devons à MM. Gay-Lussac et de Humboldt sur ce poisson, nous ont fait connaître les phénomènes généraux des commotions, qui présentent quelques différences avec ceux

que nous avons rapportés précédemment. Quand la torpille lance le coup, elle remue convulsivement les nageoires pectorales; le coup est plus ou moins douloureux, selon que le contact immédiat avec une partie du corps se fait par l'intermédiaire d'une surface plus ou moins large. Dans le gymnote, il n'en est pas ainsi : les nageoires, les yeux et la tête restent immobiles quand l'animal donne la commotion; dans l'un comme dans l'autre, il faut de toute nécessité irriter l'animal pour obtenir des effets, qui dépendent par conséquent de sa volonté. La torpille ne se borne pas à donner une seule commotion, on en distingue aisément plusieurs, qui sont lancées avec une célérité étonnante. Pour la recevoir, la personne n'a pas besoin d'être isolée.

M. Gay-Lussac a remarqué qu'une personne isolée ne ressent la commotion qu'autant que le contact avec le doigt est immédiat, c'est-à-dire, qu'il n'a pas lieu par l'intermédiaire d'un corps métallique.

Si l'on place la torpille sur un plateau de métal, de manière que ce plateau touche la surface inférieure des organes qui lui sont propres, la main qui le soutient n'éprouve pas de commotion, bien qu'une personne isolée excite l'animal, et que le mouvement convulsif des nageoires pectorales annonce des décharges fortes et réitérées. Ce fait rentre dans le précédent.

Quand le poisson est placé entre deux plateaux de métal dont les deux bords ne se touchent pas, et que l'on appuie en même temps les deux mains sur ces plateaux, la décharge doit s'effectuer par l'intermédiaire des deux mains, si le phénomène est dû à l'action d'un courant circulant du dessus au dessous. Il n'en est plus de même quand la torpille se trouve entre deux plats de métal dont les bords se touchent, parce que la décharge a lieu par l'intermédiaire du métal; l'effet est le même, comme on l'a dit plus haut, en touchant le poisson avec un morceau de métal.

MM. Gay-Lussac et de Humboldt n'ont pu reconnaître aucun effet de tension électrique à l'instant où la

torpille donne la commotion. Ce résultat était facile à prévoir, attendu que les décharges électriques ne sont jamais accompagnées de phénomènes propres à l'électricité de tension.

Quand la torpille est très-vigoureuse, elle agit avec autant d'énergie dans l'eau que dans l'air.

940. Dans les expériences précédentes, on a cherché seulement à établir un rapprochement entre les commotions de l'animal et celles qui sont dues à la décharge d'une bouteille de Leyde. On ne peut disconvenir que le rapprochement soit tel, qu'il soit bien difficile de ne pas apercevoir une origine commune. Ce premier aperçu ne suffit pas, il faut encore rechercher, dans les effets des poissons électriques, d'autres caractères propres aux décharges électriques, qui serviront à établir une identité parfaite entre les unes et les autres.

§ II. *Des moyens employés pour reconnaître l'origine électrique de la commotion de la torpille.*

Puisque l'animal lance une décharge, il ne faut pas chercher dans ce phénomène des effets de tension qui ne sauraient exister, mais des courants électriques qui produisent des décompositions chimiques, qui réagissent sur l'aiguille aimantée, et peuvent changer la polarité des aiguilles d'acier faiblement aimantées. Il faut se servir, par conséquent, d'instruments qui attestent la présence des courants électriques dus à des décharges électriques analogues à celles que l'on obtient avec la bouteille de Leyde.

941. Les multiplicateurs ordinaires ne doivent pas être employés, puisque les circonvolutions du fil étant imparfaitement isolées par la soie qui le recouvre, permettent à la décharge de passer de l'une à l'autre. Aussi est-il nécessaire d'employer le multiplicateur de M. Colladon, qui, cependant, a l'inconvénient, quand le fil a une très-grande longueur, de présenter un volume trop considérable pour que le courant qui parcourt les cir-

convolutions puisse réagir avec efficacité sur les aiguilles. On peut, à la vérité, éviter une grande partie des inconvénients que présente le multiplicateur ordinaire, en faisant passer préalablement la décharge dans un vase rempli d'eau distillée. Nous reviendrons bientôt sur cette addition à faire à l'appareil.

Les deux extrémités du fil du multiplicateur étant terminées par deux fortes lames de platine, peut-on appliquer chacune d'elles sur deux parties quelconques de la torpille, sans craindre que les effets produits, dans cette circonstance, sur l'aiguille aimantée soient dus à une autre cause qu'à la décharge? Non, car M. Donné a prouvé que, lorsque l'on place une des lames de platine dans la bouche et l'autre sur la poitrine de l'homme, on a un courant, qui est dû à la réaction l'un sur l'autre, par l'intermédiaire des parties humides environnantes, des deux liquides différents en contact avec les lames. L'effet se montre quelque temps encore après la mort; on le constate également sur tous les animaux, même dans les poissons, toutes les fois que les lames plongent dans deux régions renfermant des liquides différents. Il est donc impossible, si l'on veut observer un courant électrique résultant d'une décharge instantanée, d'employer des lames de platine, un multiplicateur ordinaire, et même le multiplicateur préparé, avant d'avoir écarté les courants électro-chimiques. Or ces derniers, et les courants provenant des décharges instantanées, jouissent de propriétés bien distinctes : les uns ne passent pas dans l'eau distillée, tandis que les autres la traversent sans la moindre difficulté. Si donc on veut séparer ces deux courants, il suffit de placer, dans le circuit du multiplicateur, un tube de verre recourbé en U, dans lequel on met de l'eau distillée. Le courant que l'on obtient alors ne provient que de la décharge instantanée.

942. M. John Davy, auquel nous devons un travail intéressant sur la torpille, ne s'est pas mis en garde contre la cause d'erreur que nous venons de signaler,

comme le lecteur pourra s'en convaincre par l'exposé que nous allons donner de ses recherches.

Cet habile chimiste (1) a d'abord fait usage d'une spirale électro-dynamique placée sur un tube de verre, fermé aux deux extrémités par des morceaux de liége, dans lesquels passaient les deux bouts du fil de cuivre terminés par des manches isolants.

La première torpille soumise à l'expérience avait environ six pouces de long; elle était très-active, et fut placée dans un bassin de verre, avec de l'eau de mer qui la recouvrait légèrement. Une aiguille d'acier non magnétique ayant été introduite dans la spirale, un des fils extrêmes fut appliqué sur la surface inférieure de l'organe particulier aux poissons électriques, et l'autre sur la surface supérieure. De temps à autre on établissait le contact pendant cinq minutes. L'aiguille d'acier, retirée de la spirale, possédait assez de magnétisme pour attirer la limaille de fer. Le résultat fut le même avec des torpilles de diverses grandeurs. M. John Davy a fait usage ensuite d'un multiplicateur isolé convenablement. Les deux bouts du fil furent appliqués sur l'animal, comme ci-dessus; l'aiguille aimantée fut déviée aussitôt assez fortement. Il rapporte n'avoir jamais observé qu'un poisson, qui possédait le pouvoir de rendre une aiguille magnétique dans la spirale, ne fit pas mouvoir l'aiguille du multiplicateur, tandis qu'il a eu plusieurs fois l'exemple d'un poisson qui produisait seulement ce dernier effet. Les tentatives qu'il a faites dans le but d'obtenir des effets d'ignition et de lumière ont été infructueuses.

943. M. John Davy ne s'est pas borné à reconnaître les propriétés physiques de l'agent qui produit la commotion, il a étudié encore ses propriétés chimiques : à cet effet, il prit un petit vase de verre rempli d'une solution de sel marin, et introduisit dedans deux fils

(1) Transact philos., 1832, 1re partie.

d'argent très-fins, en communication avec les fils de contact. Les premiers avaient été enduits de gomme laque tout le long de leur trajet dans le liquide, excepté à leurs extrémités, suivant la méthode de Wollaston, pour opérer la décomposition au moyen des décharges instantanées. Les contacts furent faits comme à l'ordinaire : de petites bulles d'air se rassemblèrent autour de l'extrémité qui communiquait avec le fil inférieur, et il ne vit rien à l'autre extrémité. Après un intervalle de quelques heures, il substitua de petits fils d'or à ceux d'argent : cette fois, il y eut du gaz de développé à chaque extrémité. Avec du nitrate d'argent et des fils d'or, les effets de décomposition furent plus distincts. L'extrémité du fil inférieur devint noire, il ne s'en éleva que deux ou trois bulles d'air, tandis que l'extrémité du fil supérieur resta brillante et fut entourée de plusieurs bulles de gaz.

M. John Davy conclut de ses expériences, conformément à l'opinion de Walsh, qui avait annoncé le fait sans le prouver (1), que les deux faces de la torpille étaient aptes à donner les deux électricités; que la surface inférieure correspondait à l'extrémité zinc d'une batterie, et la surface supérieure à l'extrémité cuivre.

Suivant d'autres expériences qui nous sont propres et que nous rapporterons plus loin, c'est le contraire qui a lieu.

944. Le lecteur a pu voir, d'après l'exposé que nous venons de lui présenter des expériences de M. John Davy, que cet habile chimiste a négligé les effets électro-chimiques produits quand deux lames de platine, fixées aux deux bouts du fil du multiplicateur, sont mises en contact avec deux parties humides quelconques d'un animal mort ou vivant, effets qui sont encore plus marqués quand on emploie, comme il l'a fait, des lames de cuivre qui ne sont jamais attaquées également par le

(1) Transact. philos., vol. XIII, p. 475.

même liquide, surtout quand ce liquide est de l'eau de mer. Ce fait est facile à vérifier : si l'on plonge les deux bouts du fil de cuivre d'un multiplicateur dans une solution saline, on a toujours un courant qui va, en suivant le circuit, du côté le moins attaqué à celui qui l'est le plus.

Nous ne prétendons pas pour cela que les résultats qu'il a obtenus soient uniquement dus à la cause que nous venons d'indiquer; mais nous pensons que cette cause a dû influer d'une manière déterminante sur leur production. Le seul moyen de s'en débarrasser, comme nous l'avons déjà avancé, est de faire passer la décharge de la torpille dans un tube de verre rempli d'eau distillée.

945. Ces appareils ne sont pas les seuls qui aient servi à étudier les propriétés électriques de la torpille; il en est un autre, doué d'une excessive sensibilité, mais dont l'emploi exige les mêmes précautions que celles que nous venons de signaler; nous voulons parler de la grenouille préparée à la manière de Galvani. L'expérience a été faite par Galvani lui-même. La grenouille préparée ayant été placée sur une partie quelconque du poisson, s'est vivement contractée, et il en a été encore de même quand il l'a étendue sur une table humide, à une certaine distance de la torpille, lorsque celle-ci paraissait tranquille. Volta en a inféré que les organes qui possèdent cette faculté sont toujours en action par suite du passage continuel du fluide électrique du dessus au dessous de l'animal, *et vice versâ*. Il est très-remarquable qu'il ait pressenti, dès cette époque, que la décharge devait s'effectuer, comme on l'a découvert dans ces derniers temps.

946. Voici les résultats que nous avons obtenus avec M. Breschet, à Venise, en suivant la méthode d'expérimentation précédemment indiquée.

Les torpilles sont assez abondantes dans la Méditerranée et sur les bords de l'Océan où il existe des basfonds marécageux; mais, comme elles sont difficilement

transportables, il faut se rendre, pour opérer, dans les lieux même où on les pêche, si l'on veut qu'elles n'aient rien perdu de leur vitalité. Chioggia est l'endroit le plus rapproché de Venise où l'on puisse s'en procurer avec facilité.

Les torpilles sur lesquelles nous avons opéré avaient de 6 à 12 pouces de long. Nous avons commencé par constater la propriété qu'on leur a reconnue depuis longtemps de donner une commotion absolument semblable à celle de la bouteille de Leyde, quand on les touche du doigt, en les irritant. Le coup est effectivement plus ou moins douloureux, suivant que le contact se fait par une surface plus ou moins large, sur une partie quelconque du corps autre que la queue, que l'on peut toucher impunément sans recevoir le choc. Si l'on veut obtenir des effets bien marqués, il faut porter la main sur la partie moyenne du corps, et principalement sur les points correspondants à un organe particulier où afflue l'électricité. Selon la vitalité de l'animal, la commotion se fait sentir dans les articulations du doigt, dans le poignet, dans le coude et même dans l'épaule. L'effet étant sensible, même lorsqu'on ne le touche qu'avec un seul doigt, il faut en conclure que celui-ci donne passage à une portion de la décharge qui s'effectue dans l'intérieur de l'organe à l'instant où l'animal est irrité.

Cet effet est donc le résultat d'un choc latéral analogue à celui que l'on obtient dans l'expérience suivante : lorsqu'on place une bouteille de Leyde chargée sur un drap mouillé, et qu'on la décharge de manière que celui-ci fasse partie du circuit, des grenouilles préparées, posées dessus, annoncent, par leurs contractions, que le courant s'est répandu dans le drap entier. D'après cela, la quantité d'électricité qui échappe à la décharge principale n'est qu'une faible portion de celle qui circule dans l'organe de la torpille.

947. D'un autre côté, comme la torpille dirige la décharge là où elle veut, là où elle se sent irritée, blessée, il faut supposer que cette décharge ne se fait pas à la fois

sur toute la peau, et que l'animal peut, au moyen d'un liquide sécrété, versé dans unepartie du tissu cellulaire, établir à volonté la communication entre les organes et tel ou tel point de sa peau.

948. Il est bon de remarquer que, pendant que l'on tient fortement l'animal par la queue, et qu'on le presse dessus et dessous avec des lames de platine pour recueillir les deux électricités, il se contracte fortement, de manière à recourber tantôt en haut, tantôt en bas, la colonne vertébrale, comme s'il était atteint du tétanos. Les nageoires thoraciques sont agitées convulsivement, et le plus souvent redressées en haut en forme de crête. Néanmoins, comme d'autres observateurs l'avaient déjà remarqué, les mouvements musculaires les plus violents et les plus spasmodiqnes ne sont pas toujours accompagnés de décharges électriques; celles-ci ne doivent donc pas toujours être considérées comme la conséquence des contractions musculaires, mais bien comme l'effet d'un acte volontaire de l'animal.

Lorsque les torpilles ont été excitées longtemps, la peau de la face inférieure du corps, de blanche qu'elle est ordinairement, devient rosée et passe même, à une teinte de rouge très-marquée.

Il nous a été impossible de conserver des torpilles dans un baquet rempli d'eau de mer, plus de 6 heures; au milieu d'une chambre, elles mouraient toutes avec la roideur cadavérique.

949. Le multiplicateur dont nous nous sommes servis pour étudier les courants électriques dus aux décharges instantanées est doué d'une excessive sensibilité ; il a été construit par M. Gourjon.

Il est formé d'un fil de cuivre recouvert de soie, enduit de vernis à la gomme laque sur toute sa longueur, et enroulé plusieurs milliers de fois autour du châssis. Au moyen de cet enduit, les circonvolutions se trouvent aussi bien isolées que possible ; précaution que l'on doit toujours prendre, quand il s'agit de faire passer un courant instantané dans un fil de métal replié sur lui-même.

Les deux extrémités du fil étaient terminées chacune par un fil de platine, auquel était soudée une lame de même métal; l'une des lames fut plongée dans une des branches d'un tube de verre recourbé en U et rempli d'eau distillée, tandis qu'une troisième lame de platine, en communication avec une autre lame par l'intermédiaire d'un fil de platine, fut placée dans l'autre branche. Les deux lames libres, tenues chacune dans une main par un manche isolant, ont été appliquées l'une sur la surface supérieure, l'autre sur la surface inférieure de la torpille, de la manière suivante: l'animal ayant été soulevé hors de l'eau par la queue, a été tenu dans une position verticale, la tête en bas; puis on a appliqué les deux plaques sur l'organe principal, l'une d'un côté, l'autre de l'autre; l'aiguille a été déviée depuis 5 jusqu'à 40°, suivant la vitalité et la volonté de l'animal. En mettant d'un côté la lame qui était de l'autre, et réciproquement, la direction du courant a été inverse. Ce fait prouve bien que l'effet est électrique et qu'il ne doit pas être attribué à la présence des corps étrangers répandus sur la surface des lames de platine, mais bien à la direction de la décharge dans l'organe.

La position verticale que l'on donne à la torpille l'irrite beaucoup et la met dans un état convenable pour lancer la décharge.

La direction du courant indique que la lame appliquée sur la partie supérieure de l'organe lui enlève l'électricité positive, et la lame en contact avec la partie inférieure l'électricité négative.

Les spirales électro-dynamiques, substituées au multiplicateur, ont servi à aimanter des aiguilles d'acier placées dans leur intérieur. Le sens de l'aimantation était d'accord avec celui de la déviation de l'aiguille aimantée dans le multiplicateur.

Il est donc bien prouvé maintenant, par des expériences qui sont à l'abri de toute objection, puisque l'on a écarté les effets électro-chimiques, que la commotion de la torpille est bien le résultat d'une décharge électrique, analogue à celle de la bouteille de Leyde, décharge

dirigée de telle manière que la surface supérieure de l'organe principal se trouve être le siége de l'électricité positive, et la surface inférieure celui de l'électricité négative.

§ III. *Description des organes particuliers aux poissons électriques.*

950. Les poissons dont nous venons d'étudier les propriétés électriques, le gymnote et la torpille, et nous devons même y joindre le silure, possèdent un organe particulier qui leur est propre, et qui ne se retrouve pas dans les autres poissons. Nous allons décrire successivement ces organes, afin d'essayer de remonter, s'il est possible, à la cause qui produit la commotion.

La torpille a deux organes distincts où résident ses facultés électriques. Ils sont situés de chaque côté de la tête (fig. 42). Hunter et M. Geoffroy St.-Hilaire ont reconnu que chacun d'eux est composé d'un grand nombre de tubes aponévrotiques, d'une forme hexagonale, rangés parallèlement les uns à côté des autres, autour des branchies, et dont l'une des extrémités repose sur la peau de dessus, et l'autre sur celle de dessous. Hunter a compté 1182 de ces tubes dans un seul organe d'une torpille longue d'un mètre. Tous ces tubes sont exactement fermés, à leurs deux extrémités, par une membrane également aponévrotique, qui s'étend sur toute la surface de l'animal. Si l'on examine l'organisation de ces tubes, on les trouve traversés horizontalement, suivant M. Geoffroy St.-Hilaire, par de petites membranes placées l'une au-dessus de l'autre, à de très-petites distances; l'espace compris entre elles est rempli d'une substance qui paraît composée d'albumine et de gélatine. Cet appareil est traversé par des filets nerveux très-nombreux, répartis dans chaque tube et correspondant à des nerfs remarquables par leur grosseur.

951. Volta fut tellement frappé de la constitution de l'organe électrique de la torpille, telle que nous venons de la décrire, qu'il vit, sur-le-champ, dans chaque tube un petit appareil électro-moteur, composé non plus de deux

métaux et d'un liquide, ou de deux liquides et d'un métal, mais bien de trois conducteurs liquides différents. Mais pour la formation de chaque élément, comme il n'avait que deux pellicules et un liquide intermédiaire, il fut obligé d'admettre une hétérogénéité dans les faces de la même pellicule.

Voyons comment Volta, en partant de cette organisation, est parvenu à expliquer les effets électriques de la torpille.

Ce grand physicien admettait que la torpille, qui comprime fortement le dos à l'instant où elle lance la commotion, n'agit ainsi que dans le but d'appliquer exactement la paroi inférieure de la partie supérieure et de la partie inférieure de l'animal sur les extrémités opposées de l'appareil électrique, afin de presser suffisamment les disques ou membranes qui le composent, pour former une pile. Suivant lui, il pourrait bien se faire aussi que la contraction de la colonne vertébrale fût destinée à répandre un liquide, bon conducteur, sur les parties constituantes du double organe, lesquelles ne seraient autres, comme nous l'avons déjà dit, que les pellicules ou petites couches d'un très-petit diamètre qui se trouvent dans les tubes aponévrotiques.

Volta considérait donc les organes électriques comme de véritables électro-moteurs naturels, rivalisant avec les électro-moteurs ordinaires, et fonctionnant suivant la volonté de l'animal. Mais il ne peut en être ainsi, comme nons le verrons ci-après.

952. John Davy, qui a étudié l'organe de la torpille, en examinant une des alvéoles qui le composent, avec une lentille d'un grossissement de 100 diamètres, n'y a reconnu aucune structure régulière; le tout lui a paru formé d'une masse homogène, traversée dans diverses directions par quelques fibres probablement nerveuses. Cependant, dans quelques circonstances, il a observé uneespèce de structure dont nous allons parler. En plongeant les organes électriques dans de l'eau bouillante il les a vus se contracter soudainement dans toutes leurs

dimensions, et les alvéoles sont devenues circulaires d'hexagonales ou de pentagonales qu'elles étaient d'abord. L'immersion pendant quelques minutes a suffi pour les rendre plus fermes. Dans des expériences faites à Rome, il a vu que les tubes étaient distinctement fibreux et lamellés, structure qui rappelait assez celle de la pile de Zamboni. D'un autre côté, le même physicien n'a rien vu de semblable dans des expériences faites à Gênes; les fibres tendineuses, en quelques secondes, ont été converties en gelée, et les alvéoles se sont séparées, ayant l'apparence et la consistance d'un mucilage brillant et très-doux. A quoi attribuer une différence aussi grande dans les résultats? Peut-être tient-elle à quelques conditions, à quelques particularités qui n'ont pas été les mêmes dans les deux expériences, telles que la température, la durée de l'immersion, le temps depuis lequel l'animal n'existait plus. Quoi qu'il en soit, M. John Davy n'a pu confirmer, à la température ordinaire, avec une lentille ayant un fort grossissement, les observations de Hunter et de M. Geoffroy St.-Hilaire sur l'organisation de chaque tube aponévrotique.

M. Breschet, qui a commencé un travail sur l'anatomie de la torpille, a déjà fait les observations suivantes :

Il existe, de chaque côté de la bouche et des voies respiratoires, un organe de forme semi-lunaire, composé d'une multitude de prismes généralement à six pans, disposés parallèlement les uns aux autres et perpendiculairement au sol. Ces prismes, qui sont plus longs vers la partie moyenne que vers les extrémités, donnent à cet organe une épaisseur plus considérable dans son milieu que vers les bords.

En avant et au devant de l'organe olfactif, les deux corps prismés sont en contact l'un avec l'autre, au moyen d'un tissu intermédiaire composé de cellules de plus en plus petites, dans lesquelles se trouve un tissu entièrement semblable à celui qui constitue les prismes.

L'organe entier est enveloppé d'une membrane de nature fibreuse, peu adhérente aux parties voisines, dont

on l'isole avec la plus grande facilité. Elle s'insère en dehors sur plusieurs pièces cartilagineuses disposées en arc de cercle et articulées les unes avec les autres. Des muscles insérés sur cet arc cartilagineux peuvent, les uns, comprimer l'organe, les autres, produire un effet inverse. De la face interne de la tunique fibreuse qui enveloppe de toutes parts l'organe partent des cloisons également fibreuses, dans l'épaisseur desquelles se ramifient une foule prodigieuse de filets nerveux. Les cloisons fibreuses forment autant d'alvéoles semblables à celles d'un rayon de miel, avec cette différence cependant que les alvéoles de l'organe électrique sont fermées de toutes parts; les cloisons sont tellement disposées, qu'elles appartiennent à deux prismes à la fois. D'après cela, chaque prisme, quoique entièrement isolé des autres, n'a pas une tunique propre.

C'est aux points de réunion des cloisons, c'est-à-dire aux endroits où trois de ces cloisons se réunissent, que se trouvent placés les nerfs et les vaisseaux qui pénètrent dans l'intérieur de l'alvéole; c'est aussi à ces angles que le prisme est adhérent, tandis qu'il paraît entièrement isolé du reste des cloisons.

La structure des prismes, qu'on a un si grand intérêt à connaître, puisqu'elle peut jeter quelque lueur sur l'usage que fait la torpille de son organe prismé pour lancer la commotion, a attiré aussi l'attention de M. Breschet. Suivant cet habile anatomiste, des filets nerveux traversent les cloisons au niveau des angles, et se perdent dans les prismes qui ne sont pas de nature nerveuse. Quant aux vaisseaux, comme ils ne sont pas pour nous d'un intérêt direct, je n'en fais pas mention ici.

Voici l'aspect que présentent les prismes : si l'on fend la cloison longitudinalement, et qu'on la déjette sur les côtés de manière à mettre à nu une des faces du prisme, on voit sur cette face une foule de stries transversales liées entre elles par un tissu cellulaire extrêmement ténu et transparent. Les stries n'indiquent pas des lamelles isolées et superposées les unes aux autres, comme les

éléments d'une pile voltaïque, mais tout est lié ensemble, tout forme une masse presque homogène et amorphe, dans laquelle on ne distingue que des stries un peu plus opaques que le reste, que l'on suppose être nerveuses, attendu que leur point de départ correspond aux angles de réunion des cloisons, où l'on voit pénétrer les filets nerveux. La grande quantité de filets nerveux qui pénètrent dans l'intérieur de l'organe tendent à confirmer cette manière de voir.

Les figures 43, 44, 45 présentent les diverses parties que nous venons de décrire.

Fig. 43: moitié latérale droite de la torpille.

Vue par sa face inférieure : les téguments ont été enlevés pour faire voir l'organe électrique.

A, extrémité antérieure du corps de l'animal et ligne médiane.

B, boucles.

C, narines.

DDDD, muscles de l'appareil buccal.

EE, muscles de l'appareil respiratoire.

F, ouverture des branchies.

GGG, organe électrique.

G', partie antérieure de cet organe, au moyen de laquelle il communique avec celui du côté opposé.

HH, bord interne de l'organe électrique, où l'on voit la forme et la hauteur respective des prismes.

IIII, cordons nerveux, qui se distribuent en entier dans l'organe électrique.

J, arc cartilagineux, qui donne insertion à l'enveloppe de l'organe électrique.

K, muscle s'insérant dans cet arc cartilagineux.

XXX, lambeaux de peau.

Fig. 44: portions de prisme isolé et dépouillé de ses enveloppes; les stries y sont indiquées.

Fig. 45: ce dessin représente les enveloppes, ou plutôt la cloison séparant les prismes, avec les filaments fibreux, qui sont d'un blanc éclatant, et les filets nerveux, qui sont d'un blanc grisâtre.

953. Voyons maintenant de quelle manière M. John Davy a envisagé le phénomène : désirant d'abord reconnaître jusqu'à quel point l'organe particulier possède la propriété contractile, il a soumis une torpille vivante à l'action d'une pile voltaïque; les effets ont été très-distincts sur les muscles dépendant de la volonté, tandis que les organes électriques n'ont pas paru affectés, de quelque manière que fussent appliqués les fils, même lorsque l'un d'eux était mis en contact avec un des gros faisceaux de nerfs. Le résultat fut encore le même après la mort.

D'autres stimulants, substitués au fluide électrique, ont donné également des résultats négatifs pour l'organe électrique, lors même qu'on l'avait incisé. Cet organe ne paraît donc pas doué de contractilité.

954. Ces expériences prouvent que les organes électriques de la torpille ne peuvent être assimilés aux muscles, et doivent être considérés seulement comme des tubes formés de fibres tendineuses et nerveuses, distendues par un épais liquide gélatineux, et entourées de muscles puissants, qui les pressent assez fortement pour que la condensation, si elle est nécessaire au dégagement de l'électricité, puisse s'effectuer sans difficulté.

955. Pour bien concevoir la manière dont M. John Davy envisage les effets électriques de la torpille dans ses rapports avec les fonctions vitales, il faudrait entrer dans une foule de détails anatomiques qui ne sauraient trouver place ici. Nous ne pouvons seulement que rapporter quelques faits généraux et les conséquences principales que l'habile chimiste anglais a déduites de ses observations. Ayant d'abord constaté que les nerfs gastriques dérivent des nerfs électriques, il émet l'opinion que le superflu de l'électricité, qui n'est pas nécessaire pour la défense de l'animal, est dirigé vers l'estomac pour activer la digestion. Le fait suivant tend effectivement à confirmer cette manière de voir : si l'on excite fréquemment un poisson vivant pour en obtenir des chocs, la digestion paraît être complétement arrêtée. Dans une de ses

expériences, il a trouvé; après la mort de l'animal, dans son estomac un petit poisson qu'il avait avalé, mais qui n'était pas encore digéré.

956. M. John Davy a aussi émis la conjecture que les branchies, au moyen de l'électricité, ont probablement la propriété de décomposer l'eau pour se procurer l'oxigène dont les torpilles ont besoin quand elles sont couvertes de vase ou de sable, là où l'air leur manque. Jusqu'ici aucun fait n'est en opposition avec cette manière de voir, ni ne vient la confirmer.

957. Dans la torpille, le système muqueux occupe une place importante. Il consiste en plusieurs groupements de glandes distribués, particulièrement autour des organes électriques, à différentes profondeurs, au-dessous de la peau et en gros vaisseaux transparents, de longueur et de dimension différentes, s'ouvrant extérieurement dans la peau, afin de laisser s'écouler le mucus épais sécrété par les glandes et destiné à lubrifier la surface. Ce système est beaucoup plus développé dans la torpille que dans toutes les autres espèces de raies.

958. Ce mucus paraît meilleur conducteur que l'eau de mer; car, lorsque les mains en sont imprégnées, ou bien quand un morceau frais de la peau de la torpille, avec le mucus qui y adhère, recouvre les extrémités des fils de contact que l'on tient à la main, le choc paraît plus fort que d'ordinaire : l'observation suivante vient encore confirmer l'assertion précédente. Lorsqu'on place, sous une torpille très-vive, un fil de métal, de manière que l'un des bouts se rende à la bouche et l'autre à l'extrémité du dos, hors du cercle de l'appareil muqueux, le choc électrique n'a d'effet ni sur le multiplicateur introduit dans le circuit, ni sur les aiguilles de la spirale faisant également partie du circuit; mais si un autre fil touche l'organe électrique, le fil inférieur étant placé comme ci-dessus, les deux appareils accusent alors des effets, tant que l'on transporte les deux fils à côté l'un de l'autre chacun à environ un quart de pouce de distance, le fil supérieur ne communiquant avec les organes électriques

que par les téguments communs et l'appareil muqueux.

959. Il est digne de remarque que le petit espace en avant, qui est intermédiaire entre les deux organes électriques, et qui possède un si grand nombre de glandes et de nerfs, n'ait qu'une sensibilité électrique très-faible.

La relation qui existe entre les nerfs électriques et le système muqueux a fait supposer que les fonctions électriques ne sont pas seulement aidées par la sécrétion du mucus, mais qu'elles favorisent aussi cette sécrétion, et qu'ainsi, comme on l'a supposé pour l'estomac, toutes les fois que l'électricité n'est pas employée à repousser un ennemi par de violents efforts, cette fonction peut contribuer à augmenter l'activité de ces glandes. On a observé effectivement, à l'appui de cette conjecture, dans des poissons conservés, que, là où la digestion est arrêtée, la sécrétion du mucus paraît l'être aussi, et même est considérablement diminuée. Enfin nous terminerons ce que nous avons à rapporter touchant les recherches anatomiques et physiologiques de M. John Davy, sur la torpille, en disant que, dans son opinion, le mode de production de l'électricité est encore enveloppé de mystère; qu'il dépend de l'action vitale, puisqu'il est impossible d'obtenir des traces d'électricité aussitôt que l'animal n'existe plus, et qu'il ne ressemble à aucun de ceux qui ont été mis en usage pour exciter la puissance électrique dans les corps.

960. Galvani, en cherchant à prouver que les organes électriques de la torpille sont les conducteurs du fluide élaboré dans le cerveau, a fait quelques expériences à ce sujet, dont nous allons rapporter les principales.

1° Ayant pris une torpille, il coupa longitudinalement une portion de son corps avec un des organes électriques, en laissant intacte, dans sa situation naturelle, la portion qui contenait l'autre réunie à la tête. Cette dernière partie du corps donna la secousse, tandis que l'autre s'y refusa constamment. Une observation semblable a été faite par Todd.

2° La tête de la torpille ayant été coupée, les deux

organes ne furent plus aptes à donner la commotion.

3° Il n'en fut plus de même quand le cœur fut arraché. Les organes donnèrent la commotion, et ne cessèrent de le faire que lorsqu'on eût enlevé le cerveau.

4° Voulant connaître l'influence du cerveau sur les contractions, il enleva celui-ci avec des précautions telles que la circulation du sang n'était pas dérangée; il lui fut impossible d'obtenir des secousses, quoique les mouvements musculaires fussent encore en pleine activité.

5° Il a également remarqué que l'animal était privé de lancer la décharge, dès l'instant que l'on faisait une lésion au cerveau, ou que l'on coupait les nerfs qui se répandent dans les tubes aponévrotiques des organes électriques. Cette mutilation n'empêchait pas cependant l'animal de vivre. Spallanzani a constaté le même fait.

Ces expériences montrent l'influence du cerveau et des troncs nerveux sur la faculté électrique de la torpille.

961. Nous ferons connaître plus loin notre opinion sur les effets de la torpille; passons aux deux autres poissons électriques. Le gymnote a un corps très-allongé; la queue occupe une grande partie de la longueur; sa vessie natatoire n'est pas renfermée, comme chez les autres poissons, dans la cavité abdominale : elle s'étend dans l'intérieur de la queue presque jusqu'à son extrémité. Au-dessous de cette vessie est placé un appareil composé de plusieurs aponévroses, qui s'étendent aussi dans le sens de la longueur du poisson en couches horizontales parallèles, et écartées les unes des autres d'environ un millimètre. Ces couches sont coupées presque perpendiculairement par d'autres lames de la même nature; d'où résulte un réseau large et profond dont les cellules, qui sont rhomboïdales, sont remplies d'une substance gélatineuse. La fig. 46, qui représente une coupe faite dans le gymnote, donne une idée de l'organe électrique.

962. Hunter, qui a étudié cet appareil, a reconnu qu'il était composé de quatre organes, deux grands et

deux petits. Les deux premiers sont placés au-dessous de la vessie natatoire et des muscles vertébraux; les deux petits, à la région la plus inférieure de la queue. Les couches horizontales ne sont pas constamment parallèles, elles dévient de leur direction par intervalles. Cet appareil est mis en jeu par un système de nerfs émanant de la moelle épinière. Les alvéoles du réseau reçoivent les filets nerveux d'un tronc nerveux qui existe au-dessus de la colonne vertébrale.

963. Les organes électriques du silure (fig. 47), d'après M. Geoffroy Saint-Hilaire, qui en a donné l'anatomie, au lieu d'être placés de chaque côté de la tête, comme dans la torpille, et dans la partie inférieure de la queue, comme dans le gymnote, s'étendent autour de ce poisson; ils sont placés immédiatement au-dessous de la peau. Leur composition est la même que celle des deux poissons précédemment décrits, c'est-à-dire qu'ils sont formés de fibres aponévrotiques et tendineuses, serrées de manière à former un réseau très-fin, dont il est impossible d'apercevoir les mailles à l'œil nu. Les cellules de ce réseau sont remplies, comme celles de la torpille, d'une substance muqueuse. L'appareil électrique est recouvert d'une forte aponévrose, qui l'empêche de communiquer avec l'intérieur. Les nerfs qui se rendent dans cet organe appartiennent, suivant M. Geoffroy Saint-Hilaire, à la huitième paire cérébrale.

964. Le lecteur a pu voir que, dans les trois poissons électriques connus, l'organe électrique a une constitution analogue, c'est-à-dire qu'il est formé de membranes aponévrotiques disposées de manière à former un réseau, dont les alvéoles contiennent une matière muqueuse. Ce système est rempli de filets nerveux, qui proviennent de troncs nerveux qui, dans la torpille surtout, sont d'une grosseur considérable relativement aux dimensions de l'animal.

M. Geoffroy Saint-Hilaire, qui a fait l'anatomie de ces trois poissons, a tiré les conséquences suivantes de son examen comparatif :

Les organes qui donnent aux poissons électriques la faculté de lancer des commotions ne sont pas placés de la même manière dans chacun d'eux. Dans la torpille, ils se trouvent de chaque côté de la tête; dans le gymnote, sous la queue; et dans le silure, autour du corps. Aucune branche du système nerveux ne leur est spécialement affectée, attendu que, dans la torpille, ce sont les nerfs de la cinquième paire qui s'y distribuent, dans le gymnote, les nerfs cérébraux, et dans le silure, ceux de la huitième paire; enfin, la forme des cellules, dans chaque espèce, n'est pas la même. Quoi qu'il en soit de ces différences, les organes électriques de ces trois poissons, qui ne se retrouvent pas dans les espèces analogues, ont une constitution pareille, qui semble indiquer qu'ils sont destinés à remplir des fonctions de même nature.

Nous croyons avoir rapporté les faits les plus importants qui concernent les propriétés électriques des poissons doués de ces facultés, et la constitution des organes dans lesquels elles se développent. En donnant la théorie des contractions telle que nous l'envisageons, nous ferons connaître en même temps notre manière de voir sur les singuliers phénomènes qui caractérisent les poissons électriques et que nous avons étudié nous-mêmes dans les lieux mêmes où on les trouve.

CHAPITRE IV.

THÉORIES DES CONTRACTIONS.

§ Ier. *Théorie de MM. Prevost et Dumas.*

965. La première théorie rationnelle qui ait été donnée des contractions musculaires produites au moyen de l'électricité, est due à MM. Prevost et Dumas. Elle est fondée sur l'action qu'exercent, à distance, l'un sur l'autre, deux courants dirigés dans le même sens. Pour la concevoir rappelons-nous la constitution des muscles et des nerfs, telle qu'elle a été admise par ces deux physiciens (pag. 216, 218.)

Suivant cette théorie, les ramifications nerveuses extrêmes qui partent du tronc principal se dirigent parallèlement entre elles et perpendiculairement aux fibres du muscle, puis elles retournent dans le tronc qui les a fournies ou bien vont s'anastomoser dans un tronc voisin, de sorte qu'elles n'ont pas de terminaison. Cela posé, si l'on fait passer un courant électrique au travers d'un muscle, et qu'on examine ce muscle au microscope, à l'instant où il est contracté, on voit que les sommets des angles correspondent précisément au passage de ces petits filets nerveux. Ils en ont conclu, dès lors, qu'il était probable que les filets nerveux, en se rapprochant, déterminaient le phénomène de la contraction. Pour faire marcher ainsi les filets nerveux l'un vers l'autre, ils supposent qu'ils sont parcourus par des courants électriques qui, étant dirigés dans le même sens, s'attirent. Si l'on admet, d'un autre côté, que le nerf transmette le courant plus facilement

que la matière musculaire elle-même, on a alors toutes les données nécessaires pour expliquer les contractions. Le muscle vivant serait donc un véritable multiplicateur, que la petite distance qui sépare les branches conductrices d'une part, et leur ténuité de l'autre, devraient concourir à donner à cet appareil naturel une sensibilité extraordinaire. Mais cette théorie laisse à désirer, en raison du mode de terminaison des nerfs, qui n'est pas généralement admis.

MM. Prevost et Dumas ne se sont pas bornés à exposer purement et simplement la théorie électrique des contractions; ils ont encore cherché à prouver l'inverse de la proposition, c'est-à-dire, qu'il y avait dégagement d'électricité toutes les fois qu'il se produisait des contractions par les moyens mis ordinairement en usage. Tous les excitants sont regardés effectivement par Haller et ses élèves comme très-énergiques pour produire les contractions, mais ils le sont cependant à un degré moindre que l'électricité. Ces excitants, pendant qu'ils réagissent sur les nerfs, dégagent de l'électricité, puisqu'il n'y a jamais d'action chimique sans dégagement d'électricité. MM. Prevost et Dumas attribuent à cette électricité le phénomène des contractions. Le dégagement d'électricité dans ces diverses circonstances est incontestable; mais produit-il les contractions? C'est ce que nous aurons plus loin l'occasion d'examiner.

La théorie précédente suppose que les filets nerveux sont isolés des fibres musculaires; car, sans cela, l'électricité s'échapperait dans ces dernières. MM. Prevost et Dumas, qui admettent bien entendu cet isolement, l'attribuent à une matière grasse qui entoure chacune des fibres, et ne permet pas au fluide électrique de passer de l'une à l'autre. M. Person a contesté cet isolement des nerfs, au moyen d'une matière grasse ou du névrilème, qui est un des points fondamentaux de la théorie; ce jeune physicien a montré qu'un courant engagé dans un nerf, au lieu de suivre ses ramifications, passe dans le muscle dès l'instant que celui-ci lui offre un chemin

plus facile. Voici l'expérience qu'il a faite à cette occasion : on prend une grenouille préparée, et on sépare les cuisses en coupant le bassin sur la ligne médiane, puis l'on place l'une des jambes sur une plaque de zinc et l'autre sur une plaque de cuivre. A l'instant où l'on fait communiquer les deux métaux, le courant s'établit. Les nerfs étant isolés sont traversés par le courant, et les deux jambes se contractent violemment. Il n'en est plus de même si l'on met en contact les cuisses l'une avec l'autre: dans ce cas, le courant passe par les muscles, qui lui offrent un chemin plus court. Cette expérience prouve donc que, lorsqu'un courant est engagé dans un nerf, au lieu de suivre ses ramifications, il passe dans les muscles, aussitôt que ceux-ci lui offrent un chemin plus court.

M. Person assure que, sans le rapport de la conductibilité électrique, il n'a reconnu aucune différence, à volume égal, entre le muscle et le nerf.

Nous ne mettons pas en doute les résultats de l'expérience de M. Person; mais il nous semble qu'il néglige une condition essentielle : c'est que le nerf, dans l'état de vie, possède peut-être un pouvoir conducteur propre, qui lui vient de son organisation particulière, et en vertu duquel il pourrait transmettre l'électricité, suivant la volonté de l'individu, à toutes les parties du corps, même à celles qui sont le plus éloignées du cerveau. On peut répondre de cette manière à l'objection qui a été faite à la théorie de MM. Prevost et Dumas. Quoi qu'il en soit, pour que cette théorie fût admise, il faudrait parvenir à démontrer que réellement les ramifications nerveuses sont disposées de manière à faire retour sur elles-mêmes pour former un circuit fermé : c'est là le point essentiel à décider. Cette théorie d'ailleurs très-ingénieuse doit être prise en considération dans les recherches physiologiques, en raison de la base sur laquelle elle repose, c'est-à-dire de l'action des courants les uns sur les autres.

§ II. *Théorie des contractions, fondée sur les principaux faits connus.*

966. Historien fidèle, j'ai cherché à mettre sous les yeux du lecteur les faits les plus importants relatifs à l'action physiologique de l'électricité, en accompagnant leur description d'observations propres à montrer jusqu'à quel point les explications données par les physiciens s'éloignaient plus ou moins des notions généralement reçues en électricité. Il me reste à exposer la théorie des contractions telle que je la conçois, en m'appuyant seulement sur les expériences précédemment décrites. Sans prétendre imposer mes opinions à personne, je dirai ce qui me paraît le plus probable à l'époque actuelle, disposé que je suis à les modifier aussitôt que de nouvelles observations viendront enrichir la science électrique.

Nous savons que, pour faire contracter un muscle, il faut irriter le nerf correspondant, en un point quelconque de son trajet, avec un caustique, un scalpel, la chaleur, l'électricité, etc. Cette propriété du nerf nous indique qu'il suffit du déplacement de quelques-unes de ses parties organiques pour déterminer un ébranlement général dans toutes les autres, lequel est transmis immédiatement aux particules organiques du muscle. Pour concevoir cette transmission de mouvement, il faut se rappeler ce que nous avons dit sur la constitution des nerfs et des muscles, et sur les propriétés que manifestent les premiers quand ils sont parcourus par des courants électriques.

Suivant les observations de MM. Prevost et Dumas, d'une part, et Milne Edwards, de l'autre, la matière nerveuse renfermée sous le névrilème est composée d'un grand nombre de petits filaments parallèles, dans lesquels on distingue des fibres formées de globules élémentaires. Le muscle paraît avoir une constitution analogue, puisqu'il est composé de plusieurs ordres de

fibres, dont la plus simple est formée d'une série de globules de même diamètre.

D'un autre côté, les phénomènes électro-physiologiques nous révèlent un fait extrêmement important; c'est que le nerf n'a pas une constitution homogène dans les deux sens de sa longueur, puisqu'un courant électrique d'une intensité peu considérable le parcourt facilement dans le sens des ramifications et avec difficulté dans le sens opposé. Or, nous savons que lorsque l'électricité positive chemine dans un liquide médiocre conducteur, et qu'elle rencontre, sur son passage, des obstacles qui retardent sa marche, elle les chasse devant elle, les renverse au besoin, tandis que l'électricité négative ne produit rien de semblable. En rapprochant cette observation de la précédente, nous en tirons la conséquence que le courant, quand il chemine dans le sens opposé aux ramifications nerveuses, rencontre des obstacles qui n'existent pas dans le sens des ramifications et qui par cela même retardent sa marche; il doit donc faire effort pour les renverser.

967. L'expérience nous ayant appris encore que lorsqu'un nerf est ébranlé en un point quelconque de son trajet, ou qu'il est traversé par un courant électrique dans le sens de ses ramifications, il n'éprouve ni contraction ni dérangement apparent, lors même que le muscle est fortement agité, nous devons admettre que son action consiste à transmettre rapidement au muscle une impulsion donnée à peu près comme le fait une boule d'ivoire en contact avec une série de boules disposées en ligne droite, qui leur communique à toutes successivement jusqu'à la dernière la quantité de mouvement qu'on lui a donnée sans que les boules intermédiaires éprouvent un dérangement quelconque. L'organisation fibrillaire et globulaire du nerf justifie cette allégation, en supposant toutefois aux globules élémentaires une élasticité parfaite.

Cet ébranlement se propageant rapidement dans tous les filets nerveux dont chaque fibre musculaire est

pourvue, fait entrer celle-ci en contraction. En effet, les fibres musculaires se trouvant dans une direction sensiblement perpendiculaire à celle des filets nerveux, doivent éprouver un déplacement assez considérable quand les parties constituantes de ces derniers sont ébranlées. Voilà comment on peut concevoir le phénomène des contractions, mécaniquement parlant, c'est-à-dire, en ne mettant en jeu que les particules matérielles des nerfs et des muscles, au moyen des excitants ordinaires.

968. Si nous faisons intervenir l'électricité, nous aurons des effets du même genre; seulement ils auront plus d'intensité: effectivement, quand un courant électrique traverse un nerf dans le sens de sa longueur, peu importe la direction, que fait-il? il ébranle sur-le-champ ses parties organiques, il les écarte et les tient distendues; tant que dure son passage il n'y a pas de contraction. Son action cesse-t-elle, il y a contraction due au retour immédiat des mêmes parties à leur état de repos, si elle a été de courte durée et d'une faible intensité; car, pour peu qu'elle ait été prolongée et son intensité un peu forte, les mêmes parties ne reprennent leur position définitive d'équilibre qu'au bout d'un certain temps, pourvu toutefois qu'il n'y ait pas eu un commencement de décomposition, par suite de l'action électro-chimique.

On conçoit, d'après cela, que l'ébranlement produit dans le nerf par le passage du courant soit plus énergique que celui que l'on obtient quand on l'affecte en un point seulement, puisque le courant réagit sur toutes les parties matérielles à la fois, ce que ne font pas les stimulus qui sont appliqués en un point. Les observations faites jusqu'ici tendent donc à nous représenter les particules organiques des nerfs et des muscles pendant la vie, et même quelque temps après la mort, comme se trouvant dans un état d'équilibre instable, que la cause la plus légère dérange. Cette instabilité serait un des attributs de la vie, puisqu'elle cesserait dès l'instant que ces mêmes particules commenceraient à être

soumises à l'influence des forces qui régissent la nature inorganique.

969. Quelques physiciens, dans le but de faire dépendre de l'électricité le phénomène des contractions en général, ont essayé de prouver que les moyens employés pour irriter le nerf mettaient toujours en liberté une certaine quantité des deux fluides, dont l'action suffisait pour produire la contraction. Examinons jusqu'à quel point cette opinion est fondée : l'action mécanique employée pour irriter le nerf, trouble toujours, il est vrai, l'état d'équilibre des deux électricités à l'endroit même où elle s'exerce. Il y a recomposition immédiate des deux électricités dégagées par l'intermédiaire de tous les corpuscules qui se trouvent sur leur passage, c'est-à-dire de tous les filets nerveux sur lesquels sont appliqués les stimulus. Rien ne nous prouve jusqu'ici que cette recomposition soit suffisante pour exciter le nerf à la manière des courants; cependant le fait n'est pas improbable, puisqu'il suffit de faire passer un faible courant dans une très-petite partie d'un nerf pour déterminer la contraction du muscle correspondant. Même observation pour l'excitation produite par l'action chimique : lorsqu'on verse une goutte d'acide sur un nerf, l'acide prend l'électricité positive et le nerf l'électricité contraire; les deux électricités se recombinent immédiatement sur la surface même de contact, de sorte qu'il y a autant de recompositions partielles qu'il y a de parties agissantes. L'acide n'attaquant que quelques-uns des éléments du nerf, s'il s'en trouve d'autres à côté qui ne participent pas à la réaction, alors une portion de l'électricité dégagée suit ce corps, et il en résulte réellement un courant qui peut exciter les muscles. D'après cela, on ne doit pas regarder comme impossible que les causes qui irritent le nerf et produisent les contractions, n'agissent que par suite des forces électriques qu'elles mettent en jeu.

Le lecteur peut voir avec quelle réserve nous nous

prononçons sur toutes les questions relatives à l'influence de l'électricité sur les phénomènes physiologiques. Bien qu'il puisse exister un autre agent, analogue au fluide électrique, qui préside aux phénomènes de la vie, on doit rechercher cependant si le dernier, qui se trouve partout, qui assiste et intervient même dans tous les phénomènes chimiques, ne satisferait pas aux exigences de la science. Cette marche est la plus simple et la plus philosophique que nous puissions suivre.

970. Nous n'avons encore essayé de traiter que la question la plus facile, quoiqu'elle présentât beaucoup d'obscurité; c'est celle qui est relative aux contractions produites par les stimulus, quels qu'ils soient. Mais il en est une autre d'un ordre supérieur, dont l'homme ne trouvera peut-être jamais la solution, parce qu'elle se rattache à ce que la création a de plus secret, à la formation de la pensée : nous voulons parler des contractions produites sous l'empire de la volonté. Il y aurait donc de la témérité à chercher à la résoudre; mais il est permis, je crois, de tâcher de reconnaître quelles peuvent être quelques-unes des causes qui concourent à ce grand acte de la nature.

Lorsque nous voyons, par exemple, reproduire, dans les expériences galvaniques d'Aldini et du docteur Andrew Ure, sur des suppliciés, avec une effroyable vérité, les divers mouvements du corps et même de la face, n'est-on pas disposé à admettre que la nature, élaborant le fluide électrique par des moyens qui échappent à nos investigations, en dispose d'une manière plus régulière, et par conséquent moins désordonnée que nous ne le faisons avec nos appareils, pour mettre en mouvement certaines parties sans troubler l'harmonie des autres. Raisonnons dans cette hypothèse; mais présentons auparavant quelques considérations physiologiques qui ne sont pas sans intérêt pour la question.

De quelque manière que l'on veuille envisager les actes divers du cerveau, il est un fait capital dont on ne

peut nier l'existence; c'est qu'il lui arrive des sensations qui lui apportent les images des corps extérieurs. Que ces sensations soient le mobile, le point de départ de toutes les facultés qui composent notre intelligence, ou bien que ces facultés naissent dans le cerveau, complétement indépendantes des sensations, il faut admettre ce deuxième grand fait, c'est que le résultat de tous les actes du cerveau est d'aboutir à des mouvements très-variés, qui traduisent plus ou moins fidèlement nos idées au dehors.

Quelle que soit l'hypothèse que l'on admette pour expliquer ce qui se passe dans le cerveau, on ne doit donc pas perdre de vue les deux principes suivants qui préexistent à toutes les théories : 1° il arrive au cerveau des sensations; 2° il part du cerveau un stimulus quelconque en vertu duquel les organes exécutent des mouvements divers. Les agents qui remplissent ces fonctions sont évidemment les nerfs. On est conduit par là à examiner s'il existe des nerfs exclusivement destinés au mouvement et d'autres au sentiment; ou bien s'il existe des nerfs qui remplissent ces deux fonctions. Les notions que nous possédons en physiologie nous permettent de répondre affirmativement à ces deux questions. Le nerf optique est exclusivement destiné à la transmission de la lumière; le nerf auditif à celle du son; les nerfs de la cinquième paire, qui naissent du cerveau, donnent la sensibilité à presque toute la face. D'un autre côté, il existe des nerfs exclusivement destinés au mouvement. La langue, par exemple, en possède un; le larynx en a deux; le globe de l'œil, trois ou quatre, etc., etc.

Nous ajouterons que les nerfs du mouvement et ceux du sentiment s'anastomosent et s'envoient des filets réciproques assez fréquemment.

Quant aux nerfs qui remplissent simultanément les fonctions du mouvement et du sentiment, nous savons que des parties latérales de la moelle épinière il naît de

chaque côté deux racines, l'une dite racine antérieure et l'autre racine postérieure; après un court trajet, les filets qui composent ces deux racines se mêlent, s'entre-croisent tellement qu'ils sont entièrement confondus et qu'ils forment un petit renflement nerveux, d'où les nerfs tirent leur origine et vont se distribuer dans les parties voisines. Ces nerfs remplissent pour la plupart et en même temps les fonctions de nerfs du sentiment et de nerfs du mouvement, comme M. Magendie et d'autres physiologistes l'ont observé.

Revenons maintenant à la théorie électrique des contractions.

L'expérience nous ayant appris que, pour faire contracter un muscle, il faut irriter le nerf correspondant en un point quelconque de son trajet, c'est-à-dire déterminer un ébranlement qui se propage de proche en proche jusque dans le muscle, nous sommes portés naturellement à admettre que le cerveau, par l'effet de l'exercice des facultés intellectuelles, imprime une impulsion au nerf, à son origine, laquelle est transmise sans difficulté dans tout son trajet. Or, cette impulsion imprimée au nerf par le cerveau ne peut être, eu égard à nos connaissances en physique, que le résultat d'une action mécanique, d'une action chimique ou d'une action électrique. Nous ne pouvons raisonner, par conséquent, que dans chacune de ces trois suppositions; car, s'il existait un autre mode d'action, la nature nous en étant inconnue, il nous serait impossible d'en discuter les effets. Examinons donc séparément chacune de ces actions, pour savoir celle à laquelle nous devons donner la préférence. L'action mécanique que l'intelligence mettrait en jeu doit être écartée, parce qu'elle n'agirait pas avec assez de force et de suite : il est peu probable aussi que l'acte de la volonté puisse porter un acide, un alcali, un corps quelconque dans le cerveau, à l'origine du nerf, pour réagir chimiquement sur lui; car, s'il en était ainsi, la matière cérébrale

ne tarderait pas à être altérée par suite de l'exercice continu des facultés intellectuelles. On a supposé que le phosphore qui se trouve dans la matière cérébrale remplissait cette fonction, ce n'est là qu'une hypothèse qui ne repose sur aucun autre fait.

Il ne reste donc plus à examiner que l'action de l'électricité. Or, il y a tant de moyens d'exciter la puissance électrique dans les corps, puisque le moindre dérangement dans leurs parties constituantes suffit pour troubler son état d'équilibre, qu'il peut très-bien se faire que la volonté, par un sentiment instinctif, ébranle quelques points du cerveau pour mettre en mouvement l'électricité à l'origine du nerf qui doit être affecté, laquelle est transmise immédiatement par ce dernier aux muscles correspondants. Ce qui tend à justifier cette manière de voir, c'est que le passage de l'électricité peut se faire sans difficulté du cerveau dans le nerf, puisque l'on retrouve, sous le même névrilême, la même substance que celle qui constitue la matière cérébrale. Les phénomènes électriques de la torpille viennent appuyer cette conjecture : lorsque l'animal veut donner une commotion, il se contracte; par suite de cette action, la face supérieure des tubes aponévrotiques possède l'électricité positive, la face inférieure l'électricité négative. Chaque tube, par conséquent, constitue bien une petite pile électrique, mais seulement à l'instant où la torpille veut agir. L'effet de la contraction est probablement de rapprocher les deux faces supérieure et inférieure de l'organe, et par suite ses membranes intérieures, afin de le rendre meilleur conducteur, et de faciliter par là la charge de chacune des petites piles, qui reçoivent leur électricité du cerveau, où elle est élaborée, puisqu'il n'y a plus aucun effet de produit quand les nerfs électriques sont coupés. On peut m'objecter, à la vérité, que, lorsque ces nerfs sont coupés, il n'y a plus de contraction, et par suite de rapprochement possible des membranes élémentaires. A cela nous répondrons que l'organe lui-même n'est pas contractile, que, lorsque les

nerfs électriques sont coupés, l'animal vit toujours et se contracte encore; par conséquent, ils ont d'autres fonctions à remplir que celle de resserrer les tubes aponévrotiques. Nous pensons donc que l'électricité est élaborée dans le cerveau, sous l'empire de la volonté; qu'elle est transportée dans l'organe principal, où elle sert à charger les petites piles, dont la constitution, qui nous est inconnue, ne ressemble en rien à celle des appareils voltaïques; car les effets de la torpille sont analogues à ceux qui résultent du contact d'une partie du corps avec un conducteur fortement électrisé, attendu qu'il suffit de toucher seulement une des surfaces de l'organe électrique pour recevoir la commotion; il n'en serait pas ainsi si les petites piles qui composent l'organe électrique étaient semblables aux piles voltaïques, dans ce cas il faudrait toucher les deux surfaces pour recevoir la commotion. Ainsi tout concourt à prouver l'exactitude de l'explication que je viens de donner.

971. La différence qui existe, suivant nous, entre les poissons électriques et les autres animaux, c'est que, dans les premiers, la nature y a placé des organes propres à condenser l'électricité qui émane du cerveau, pour augmenter sa tension de manière à en faire une arme offensive, tandis que, dans les seconds, cette même électricité n'a que la tension nécessaire pour produire les contractions naturelles, et effectuer les diverses fonctions qu'elle est chargée d'accomplir.

972. Si les choses se passent comme nous venons de le dire, chaque contraction de la fibre musculaire doit être précédée par une décharge électrique instantanée du nerf dans le muscle, laquelle décharge produit d'autant plus d'effet que le nerf a plus de ramifications dans le muscle.

Jusqu'ici il nous a été impossible à la vérité de recueillir aucune trace d'électricité, même à l'instant d'une forte contraction; mais il peut se faire que cela tienne à ce que la tension de cette électricité est trop faible, ou bien de ce qu'il y a retour au cerveau de l'électricité qui en est émanée. Suivant le mode de terminaison

des nerfs adopté par MM. Prevost et Dumas, et même par M. Breschet, le phénomène s'expliquerait facilement, puisque les filets nerveux s'anastomosent; mais il ne serait pas aussi facile de s'en rendre compte quand ils se perdent dans le muscle, à moins de supposer que celui-ci sert de conducteur. La première explication est la plus probable; aussi l'adoptons-nous.

Le passage de l'électricité dans les muscles, considérés comme de médiocres conducteurs, doit élever leur température, qui est due en général à des causes dont nous n'avons pas à nous occuper ici. Peut-être est-ce à ce passage que l'on doit rapporter l'élévation subite de température que l'on observe dans un muscle à l'instant où il se contracte. Il est très-probable du reste que cet effet est le résultat d'une action nerveuse. On est donc porté à admettre que cet agent mystérieux, que nous retrouvons partout dans la nature, prête aussi son appui à une des plus belles prérogatives des êtres animés, celle de transmettre leur volonté à toutes les parties du corps.

973. Il reste maintenant à examiner comment les sensations sont perçues au cerveau, quand un nerf quelconque est affecté par une des causes ci-dessus mentionnées. Les expériences de M. Magendie et d'autres physiologistes établissent qu'il existe des nerfs pour le mouvement et d'autres pour le sentiment; or les phénomènes électro-physiologiques ne nous permettent pas de faire une semblable distinction; attendu, d'une part, que nous ne savons rien touchant l'action de l'électricité sur les nerfs du sentiment, et, de l'autre, que l'expérience nous a appris que lorsqu'un nerf, qui envoie des ramifications dans un muscle, est parcouru par un courant électrique, il se produit, suivant le sens du courant et son intensité, du mouvement et de la douleur; en effet, lorsqu'on dirige, dans une grenouille vivante, convenablement préparée, un courant électrique, d'une intensité peu considérable, du cerveau aux extrémités, par conséquent dans le sens des ramifications nerveuses, il y a contraction sans douleur bien sensible, tandis que si le courant

suit une direction opposée, il y a douleur, et les contractions sont à peine marquées. Ce fait, comme nous l'avons déjà dit, nous apprend que le nerf n'étant pas également constitué dans les deux sens, laisse passer plus difficilement le courant dans le sens opposé aux ramifications que dans l'autre; dans le premier cas, il est obligé d'écarter l'obstacle qu'il rencontre, ce qui ne peut avoir lieu qu'en irritant le nerf, d'où résulte pour l'animal un sentiment de douleur.

Appliquons ceci aux effets qui ont lieu lorsqu'on excite un nerf, d'une manière quelconque : sa constitution n'étant pas la même dans les deux sens, il en résulte très-probablement deux ébranlements différents; celui qui est dirigé dans le sens des ramifications porte le mouvement, celui qui chemine en sens inverse transmet au cerveau la sensation. Telles sont les conséquences auxquelles nous conduisent l'application des phénomènes électriques à la physiologie.

On peut faire une objection sérieuse à la théorie que nous venons d'exposer; aussi est-ce un devoir pour nous de ne pas la dissimuler. L'expérience prouve qu'il existe une différence caractéristique entre l'action des excitants ordinaires, et celle de l'électricité, quand l'une et l'autre s'exercent au-dessus d'une ligature pratiquée en un point quelconque du trajet d'un nerf. Dans le premier cas, le muscle situé au-dessous de la ligature reste tranquille, même lorsque la volonté agit; dans le second, il se contracte. D'où cela peut-il provenir : lorsque l'on fait passer un courant dans un nerf, pendant un temps très-court, mais appréciable; la quantité d'électricité qui s'écoule est immense. Or, dans l'acte de la volonté, il est très-probable que l'on n'a qu'une décharge instantanée due à une quantité d'électricité infiniment moindre que celle dont nous disposons pour faire contracter un muscle; dès-lors on peut concevoir pourquoi les effets physiologiques ne sont pas les mêmes dans les deux cas.

Nous nous arrêtons, dans la crainte de nous jeter dans des considérations métaphysiques étrangères à notre sujet.

CHAPITRE V.

APPLICATION DE L'ÉLECTRICITÉ A L'ART DE GUÉRIR.

§ Ier. *Des recherches qui ont été faites touchant l'action de l'électricité voltaïque sur les matières animales.*

974. L'APPLICATION de l'électricité à l'art de guérir n'a pas répondu à l'espérance des premiers expérimentateurs, qui avaient cru pouvoir en tirer un parti avantageux pour soulager l'humanité souffrante. Tantôt des résultats en apparence satisfaisants avaient été obtenus, tantôt il y avait eu absence d'effets, de sorte que l'on ignore encore si les premiers devaient être attribués plutôt à la nature qu'à l'action de l'électricité. Nous avons cependant des raisons pour croire que le fluide électrique, qui agit sur les parties constituantes des corps, comme force physique ou comme force chimique, peut exercer, dans certaines circonstances, une influence salutaire sur l'économie animale; mais nous n'avons encore que peu d'observations précises pour bien apprécier les effets de son action. Cela tient probablement à ce que l'on n'a pas employé en général un mode d'expérimentation rationnel.

Le fluide électrique agit, avons-nous dit, sur les corps organisés et sur ceux qui ne le sont pas, comme force physique et comme force chimique. Nous avons étudié les effets qui résultent du premier mode d'action; nous devons examiner maintenant ce qui se passe quand on

emploie le second. Il est indispensable de se livrer à cet examen avant de songer aux applications qui nous occupent.

975. Davy s'étant servi d'un morceau de chair musculaire de bœuf, d'environ trois pouces de long et d'un demi-pouce d'épaisseur, pour établir la communication entre deux tubes en relation avec une pile, et renfermant, l'un (celui qui était positif) une solution de chlorure de barium, et l'autre de l'eau distillée, a obtenu immédiatement, dans le tube négatif de la soude, de l'ammoniaque et de la chaux provenant de la matière animale; ce n'est qu'un quart d'heure après que la baryte a paru. Dans le tube positif, il y avait beaucoup de chlore. Ce premier exemple nous donne une idée de l'énergie avec laquelle agit l'électricité sur les substances animales, quand elle se comporte comme force chimique.

976. Dans une autre expérience, Davy soumit pendant cinq jours un morceau de chair musculaire à l'action d'une pile de 150 éléments. Ce morceau devint sec et dur, et ne laissa aucune trace de matière saline après l'incinération; dans le tube négatif, il trouva de la potasse, de la soude, de l'ammoniaque et de la chaux; dans le tube positif, de l'acide sulfurique, de l'acide nitrique, de l'acide hydrochlorique et de l'acide phosphorique.

On voit, d'après ce résultat, qu'il ne restait plus du morceau de chair musculaire que du charbon et des matières ne formant pas des combinaisons en proportion définie.

977. Davy ne se borna pas à opérer sur la nature morte; il voulut voir aussi ce qui se passe quand on soumet à l'action de la pile de la substance animale vivante. Ayant mis ses doigts, préalablement lavés avec de l'eau distillée, en contact avec ce liquide, dans la partie positive du circuit, il se développa rapidement une substance acide, qui avait les caractères d'un mélange d'acide hydrochlorique, d'acide phosphorique et

d'acide sulfurique. En faisant l'expérience du côté négatif, il s'y manifesta promptement aussi une substance alcaline fixe. Or, puisque les substances acides et alcalines peuvent être séparées de leur combinaison dans les corps vivants, au moyen des pouvoirs électriques, il y a tout lieu de croire que l'on peut introduire par le même moyen, dans l'intérieur du corps, diverses substances capables de réagir sur des organes dans différents cas pathologiques.

Voilà, je crois, une méthode très-rationnelle pour appliquer l'électricité à la médecine; mais que d'essais ne doit-on pas faire pour arriver à connaître quelques lois relatives à ce mode d'action!

Poursuivons l'examen des observations qui ont été faites touchant l'action chimique du courant sur les matières organiques. Nous prendrons l'albumine, dont le rôle est très-important dans l'économie animale.

Brandt est le premier qui ait observé que l'albumine se coagulait sous l'influence d'un courant voltaïque. Ayant soumis le blanc d'œuf à cette action, il vit la coagulation s'opérer au pôle positif.

MM. Prevost et Dumas, en répétant cette expérience, ont reconnu, en outre, qu'il se formait au pôle négatif une substance analogue à la gelée parfaitement transparente, et possédant les propriétés particulières au mucus. Ces deux coagulum sont, l'un, de l'albumine combinée avec l'acide qui se porte au pôle positif, et l'autre, de l'albumine combinée avec de l'alcali qui se rend au pôle négatif. On savait déjà effectivement que l'albumine est coagulée par l'action des acides; mais M. Dutrochet a remarqué, en outre, que les solutions alcalines concentrées la coagulent également, et que quelques acides, tels que les acides acétique et phosphorique, dissolvent l'albumine lorsqu'ils n'ont qu'une énergie médiocre, tandis que l'acide nitrique ne produit l'effet que lorsqu'il est très-concentré. Le même physicien, en étudiant avec un microscope les effets d'un

courant sur du blanc d'œuf placé sur une petite lame de verre, entre les deux bouts d'un fil de platine en communication avec une pile, a observé qu'il se formait autour du pôle positif une sorte d'atmosphère transparente à laquelle il a donné le nom d'*onde positive*, qui n'est autre que de l'albumine dissoute dans de l'acide faible; autour de cette onde, et par conséquent dans l'albumine environnante, on aperçoit des ondulations continuelles. C'est à ce phénomène et à celui de la coagulation autour des deux fils conjonctifs que se bornent les effets de la pile sur le blanc d'œuf. Mais, lorsqu'on soumet à l'expérience de l'eau rendue émulsive par le jaune d'œuf, on observe d'autres effets : dès l'instant que les deux fils conjonctifs sont mis en communication avec la pile, on voit une onde diaphane jaunâtre naître autour du pôle négatif, et une onde opaque à sa circonférence et diaphane jaunâtre dans son centre au pôle positif, comme le représente la fig. 48. L'onde alcaline paraît être due à la matière organique du jaune d'œuf dissoute dans un alcali, et l'onde positive à la même matière dissoute dans un acide; bien entendu que l'acide et l'alcali proviennent de la décomposition électro-chimique des sels contenus dans le liquide.

978. M. Dutrochet a constaté que les deux liquides organiques, transportés à chaque pôle et dissous, l'un dans un acide, l'autre dans un alcali, conservent leur organisation globulaire : ce sont ces petites globules qui, par leur rapprochement, forment la partie opaque de l'onde positive. Quoique l'on n'aperçoive aucun globule dans l'onde négative, il y en a cependant, comme on peut le voir en substituant au jaune d'œuf quelques gouttes de lait. Les deux ondes s'éloignent de plus en plus des pôles et finissent par se toucher. A leur intersection commune, il se forme un solide allongé (fig. 49), formé d'un aggloméré de globules. Aussitôt après, le contact des deux ondes est naturellement interrompu; mais, comme elles continuent à prendre de

l'accroissement, le contact s'étend au delà des deux points *cc* (fig. 50).

979. Si l'on intervertit les communications avec la pile, c'est-à-dire si le fil positif devient négatif et réciproquement, il se produit une autre série de phénomènes; le coagulum central s'efface peu à peu, la matière est dissoute et finit par disparaître entièrement. On voit alors apparaître deux nouvelles ondes, semblables à celles dont nous avons donné la description précédemment; elles s'avancent, et produisent les mêmes effets.

980. L'émulsion de jaune d'œuf qui a été soumise à la pile était parfaitement neutre; mais si l'on y ajoute une quantité extrêmement petite d'alcali, on n'obtient plus qu'une seule onde, qui est celle du pôle positif; tout le reste du liquide forme l'onde négative. Le coagulum a lieu toujours à la jonction commune; en rendant l'émulsion légèrement acide, il ne se manifeste que l'onde alcaline. M. Dutrochet a reconnu qu'il ne fallait que des quantités excessivement petites d'acide ou d'alcali pour produire ces effets.

Les résultats que nous venons d'exposer sont d'autant plus remarquables, que, jusqu'ici, nous n'avions observé des précipités dans des dissolutions qu'à l'extrémité des fils métalliques en communication avec la pile. Celui que l'on voit se former entre les deux pôles est dû, probablement, à la rencontre des globules qui sont chassés de l'extrémité de chaque fil par l'action des deux électricités. Voici comment nous envisageons le phénomène : des expériences multipliées nous ont appris que les muscles, les nerfs, et en général les tissus organiques, sont formés de globules, dont les dimensions sont les mêmes pour chaque organe. Or, si nous considérons ces globules comme les particules organiques élémentaires, nous devons les assimiler aux particules des composés inorganiques, et leur supposer par conséquent des propriétés électriques analogues; dès lors il

est probable qu'il existe des globules jouissant de la faculté, quand ils sont séparés d'une combinaison par l'action de la pile, de se transporter au pôle positif, et d'autres au pôle négatif. La coagulation doit donc avoir lieu lorsque deux globules, possédant des électricités contraires, se rencontrent au milieu de leur course entre les deux pôles.

L'hypothèse que nous venons de présenter n'a rien que de vraisemblable, puisqu'elle suppose que les forces, qui tiennent les globules réunis les uns aux autres dans les corps organisés, ne sont autres que celles qui président aux combinaisons des éléments inorganiques.

Nous ne voyons pas, dans l'état actuel des choses, une autre explication des phénomènes observés par M. Dutrochet.

§ II. *Des tentatives faites pour constater l'existence de courants électriques, dans l'intérieur du corps de l'homme et des animaux.*

981. Il ne suffit pas d'avancer que les fonctions organiques s'opèrent sous l'influence des forces électriques, il faut encore essayer de le prouver en montrant qu'il peut exister dans l'intérieur du corps des courants électriques propres à produire des décompositions chimiques; cette question intéresse au plus haut degré l'art de guérir.

982. Le docteur Bacomio (1), de Milan, a simplifié la question, en montrant que l'on peut former une pile sans y faire entrer aucun métal : cette pile est composée de disques de racines de betteraves et de disques de bois de noyer, dépouillés de leur principe résineux par une digestion dans une solution de crème de tartre par le vinaigre. Avec cet appareil, il a obtenu des effets

(1) Annales de Ch. et de Phys., t. LXII, p. 212.

de contraction sur la grenouille, en prenant pour conducteur une feuille de cochléaria.

983. Voyons maintenant les tentatives que l'on a faites pour reconnaître des courants dans les organes. Les deux extrémités en platine du fil d'un multiplicateur ont été mises en contact avec un nerf, en deux points différents; à l'instant où on l'irritait, on a obtenu des effets électriques qui sont dus très-probablement à la réaction du liquide adhérent au nerf sur les corps étrangers qui se trouvaient sur la surface du platine. Dès lors ces résultats ne sont d'aucune valeur.

984. M. Donné (1) a suivi une autre marche; il s'est attaché à découvrir quelques-unes des conditions nécessaires pour la manifestation des courants électriques; en conséquence il a cherché à découvrir les parties qui sécrètent des acides ou des alcalis, parce que la réaction de ces deux corps, par l'intermédiaire des organes ou des tissus, peut donner naissance à des courants.

Les recherches les plus modernes s'accordent à considérer la salive comme alcaline, le suc gastrique comme acide, et le liquide sécrété par la peau comme ayant tous les caractères de l'acide acétique. Les sérosités, les synovies sont alcalines, l'urine acide, etc. Nous ne le suivrons pas dans les recherches qu'il a faites pour déterminer la nature acide ou alcaline de certaines parties soit dans l'homme, soit dans les animaux; nous dirons seulement que le mucus de l'œsophage lui a paru neutre pendant la digestion, jusqu'à l'orifice de l'estomac, et la membrane muqueuse du même organe tapissée d'un liquide fortement acide jusqu'à l'orifice du pylore. Au delà, et dès le commencement du duodénum, le mucus intestinal est alcalin, et cela dans toute l'étendue du canal digestif. Le rectum sécrète également un mucus alcalin, peut-être à cause de la bile qui donne son caractère alcalin à toutes les parties adjacentes.

(1) **Annales de Ch. et de Phys., t. LVII, p. 398.**

985. M. Donné est parti de ces diverses indications, pour montrer qu'il existe des courants électriques dans les animaux, à la surface des membranes, et dans les organes hétérogènes. Il s'est appuyé, pour cela, sur ce principe que lorsque deux corps, l'un acide, et l'autre alcalin (ou bien jouant chacun ce rôle dans leurs réactions réciproques), sont séparés par une membrane, il s'opère continuellement par son intermédiaire une foule de courants électriques.

Le corps humain est donc renfermé entre deux membranes, l'une extérieure acide, l'autre intérieure alcaline dans toute son étendue, sauf quelques points limités qui sont en dehors. Pour prouver qu'il résulte de cette disposition des effets électriques analogues à ceux que l'on trouve dans la réaction des acides sur les alcalis, on place une lame de platine en communication avec une des extrémités du fil d'un multiplicateur dans la bouche qui est alcaline, et l'on met une autre lame, communiquant avec l'autre extrémité du mulplicateur, sur la peau qui jouit de l'acidité. L'aiguille aimantée est déviée, suivant la sensibilité de l'appareil, de 15, 20 et quelquefois 30 degrés. La muqueuse de la bouche fournit au courant l'électricité négative et la peau l'électricité positive, comme cela devait être, puisque l'alcali, en se combinant avec l'acide, laisse échapper de l'électricité négative, et l'acide de l'électricité positive.

M. Donné a trouvé, comme on devait s'y attendre, des effets semblables, en soumettant à l'expérience des organes qui présentaient les mêmes différences dans leur composition chimique. Nous citerons particulièrement l'estomac et le foie, dont l'un sécrète un acide et l'autre un alcali; aussi obtient-on un courant énergique en mettant en contact l'une des lames avec la muqueuse gastrique, et l'autre avec la vésicule biliaire.

986. Les courants électriques dont nous venons de signaler l'existence sont dus à des effets secondaires, puisqu'ils sont la conséquence de la réaction des acides sur les alcalis, qui ont été formés en vertu de forces

dont nous recherchons l'origine; ainsi les expériences de M. Donné, quoique intéressantes, n'ont pas résolu la question des sécrétions; elles montrent seulement que des réactions électro-chimiques peuvent être produites sur les surfaces des membranes qui séparent les substances acides et alcalines, par suite de l'action des courants électriques moléculaires qui parcourent toutes les parties organiques de ces membranes.

987. M. Matteucci, pour lever toute difficulté, a considéré les substances alcalines et acides reconnues par M. Donné, comme produites par l'état électrique contraire propre aux organes sécrétoires. Pour mettre ce fait en évidence, il a pensé que si le courant tient à l'action des acides et des alcalis sécrétés, il doit durer après la mort de l'animal : ayant pris un lapin, qui donnait une déviation de 15 à 20° au multiplicateur, quand on touchait l'estomac et le foie avec les extrémités en platine de l'appareil, il a coupé tous les vaisseaux sanguins, ainsi que les nerfs qui se rendent dans l'abdomen au-dessus du diaphragme, la déviation a été réduite à 3 ou 4°; la tête ayant été coupée, la déviation a été nulle.

Il a expérimenté ensuite sur un lapin frappé de mort, après quelques mouvements convulsifs, au moyen de l'acide hydro-cyanique introduit dans l'intérieur de la poitrine. Le courant s'est manifesté et a disparu ensuite; de sorte que son existence lui a paru être liée avec les contractions. Nous ajouterons que M. Matteucci a toujours vérifié, après la mort et la cessation des courants, l'acidité et l'alcalinéité de l'estomac et du foie; il avance en outre qu'on observe encore les courants, lors même qu'on a fait disparaître l'acide de l'estomac par un réactif convenable; il regarde donc l'existence de ce courant comme liée à celle de la vie.

Si de nouvelles expériences confirment les résultats que nous venons de rapporter, il faudrait en conclure réellement que les organes qui sécrètent un liquide acide ou alcalin, ont des facultés électriques analogues

à celles de la pile. N'ayant pu faire nous-même cette vérification, nous nous bornons à mentionner les faits signalés par M. Matteucci, sans en garantir l'exactitude.

988. Cette faculté électrique que posséderaient les organes avait déjà été pressentie par Wollaston en 1809, mais sans apporter aucune preuve à l'appui de son opinion. Cet habile et ingénieux physicien avait eu l'idée qu'il pouvait bien exister, dans le système des sécrétions animales, une influence semblable à celle de l'appareil voltaïque, qui tendrait à séparer les éléments d'un corps soumis à son action; par exemple, que la surabondance d'acide dans l'urine, quoique provenant du sang qui est alcalin, paraissait indiquer dans les reins un état d'électricité positive; et que, puisque la proportion d'alcali paraissait plus considérable dans la bile que dans le sang du même animal, il n'était pas impossible que les vaisseaux du foie fussent dans un état négatif. Quelques physiologistes ont continué à l'admettre, et ont même cherché à l'appuyer de faits, dont quelques-uns ont éclairé la physiologie sur plusieurs points. Nous citerons particulièrement les expériences de Wilson Philip (1).

On a avancé que la communication entre le cerveau et les extrémités nerveuses dans un organe avait une grande analogie avec une chaîne électrique, et que, par conséquent, l'influence interrompue du cerveau pouvait être remplacée par celle d'un courant électrique. On a cité, à cet effet, l'expérience suivante du docteur Wilson Philip (2): ce physiologiste ayant coupé à plusieurs lapins la 8e paire de nerfs allant à l'estomac, et servant à la digestion, immédiatement après, la respiration devint difficile; du persil, qu'ils avaient mangé, resta sans altération dans leur estomac, et ils moururent quelques heures après. Une semblable opération ayant été faite

(1) Transac. philos. 1816.
(2) Transac. philos. 1816.

sur d'autres lapins, Wilson Philip fit passer un courant, provenant d'une pile faiblement chargée, à travers le nerf, de telle sorte que l'un des conducteurs communiquait avec le nerf au-dessous de la section, et l'autre avec un disque d'argent étendu sur le corps, à la région de l'estomac; la difficulté de respirer cessa aussitôt. L'expérience ayant été continuée pendant 26 heures, les lapins furent tués ensuite, et on trouva le persil aussi bien digéré que dans les lapins bien portants, nourris dans le même temps. L'estomac répandit, en outre, l'odeur particulière propre aux lapins pendant le travail de la digestion.

Ces expériences ont été répétées avec succès sur plusieurs animaux. Les résultats auxquels elles ont conduit ont donné lieu à une discussion entre les physiologistes, relativement au mode d'influence de l'électricité dans le rétablissement des fonctions respiratoire et digestive. Quelques-uns ont avancé que l'électricité n'agissait dans l'expérience du docteur anglais que comme une puissance mécanique. MM. Breschet et Milne Edwards ont soutenu particulièrement cette doctrine. Suivant eux, la section du pneumo-gastrique n'arrête pas la chilification; elle la rend seulement plus lente, en paralysant l'action du tissu musculaire de l'estomac. Si l'électricité rétablit les fonctions digestives, cela tient à ce que cet agent entretient les contractions de l'estomac; puisqu'on obtient des résultats semblables en irritant le bout inférieur du nerf.

La question soulevée par le docteur Wilson Philip est toute physiologique, et n'est plus de notre ressort. Nous n'avons parlé seulement que de la partie qui concerne l'électricité.

Quoi qu'il en soit, on ne peut s'empêcher de croire que l'électricité n'intervienne dans la production des sécrétions; nous devons donc faire toutes les tentatives possibles pour prouver que l'on peut modifier les lois qui régissent les corps vivants, en modifiant l'état électrique des parties organiques. Nous aurons l'occasion

bientôt de développer cette pensée, qui contient, suivant nous, le germe d'applications importantes de l'action de l'électricité à la médecine.

§ III. *Des moyens employés pour appliquer l'électricité à la médecine.*

989. L'électricité agit de deux manières sur l'économie animale, soit en produisant des contractions et autres dérangements dans l'équilibre des parties organiques, soit en faisant naître des réactions chimiques, qui favorisent les sécrétions ou nuisent à leur développement.

Quiconque veut essayer de retirer quelques avantages de l'application des forces électriques à l'art de guérir, doit avant tout acquérir une connaissance approfondie des propriétés générales de l'électricité agissant comme force physique ou comme force chimique; car, si l'on ne possède que des notions superficielles, on court le risque de porter du désordre là où l'on veut rétablir l'harmonie.

990. L'emploi de l'électricité, comme moyen thérapeutique, est encore un point de controverse entre les physiciens; cependant il existe bon nombre d'observations qui tendent à prouver que son influence ne saurait être révoquée en doute, surtout dans les maladies nerveuses. On conçoit jusqu'à un certain point qu'il en soit ainsi : les phénomènes de contraction pouvant dépendre, suivant toutes les apparences, de l'électricité, doivent éprouver des modifications quelconques quand les nerfs sont traversés par des courants électriques, que nous supposons analogues à ceux que l'action vitale met en jeu; dès lors, il reste à déterminer quelle est la nature et l'intensité du courant qui peuvent convenir dans telle ou telle circonstance.

Commençons par exposer les divers procédés en usage pour faire réagir l'électricité sur l'organisme, quand elle

se comporte comme force physique ou comme force chimique.

Dans le premier cas, on se sert de l'électricité libre, provenant des machines ordinaires ou de piles voltaïques dont on interrompt la communication entre les pôles pendant un temps plus ou moins court pour varier la vitesse des commotions; et dans le second, de piles dont chaque pôle, suivant sa nature, est mis en rapport avec l'organe sur lequel on veut produire une réaction acide ou alcaline.

Avec les machines électriques, on obtient des étincelles plus ou moins fortes, que l'on dirige sur certaines parties du corps au moyen d'excitateurs à manche isolant, dont on varie la forme suivant les effets que l'on veut produire. On transforme quelquefois ces excitateurs en brosses métalliques, pour diviser à l'infini l'étincelle et provoquer une irritation plus grande à la peau.

Si l'on veut produire des effets plus marqués que les précédents, on emploie la bouteille de Leyde, avec laquelle on donne des commotions : celles que l'on administre avec la pile à circuit interrompu sont moins fortes, puisque l'électricité a moins de tension; mais aussi elles ont l'avantage d'être plus rapprochées, et de produire sur la partie malade un état d'excitation presque continuel, si les interruptions se succèdent rapidement. L'électricité voltaïque jouit encore d'un autre avantage; elle affecte plus profondément les organes que l'électricité libre, qui tend à se porter à la surface des corps. Hallé et M. Thillay ont vu un homme qui avait les muscles du côté gauche de la face paralysés, et qui n'éprouvait aucun effet de la commotion électrique. L'ayant soumis à l'action galvanique d'une pile de 50 éléments, en faisant communiquer, au moyen de conducteurs métalliques, les deux extrémités de la pile avec différents points de la joue malade, à l'instant où le circuit était formé, tous les muscles de la face entrèrent en convulsion avec chaleur, douleur, etc. Ces essais, répé-

tés pendant plus de six mois, ramenèrent peu à peu les parties à l'état naturel.

991. Pour régulariser les commotions données avec la pile, on se sert d'une horloge à balancier, dont les battements isochrones établissent et interrompent la communication entre les pôles, à des intervalles de temps plus ou moins rapprochés.

De chaque extrémité de la pile part un fil de cuivre, terminé par une pièce de même métal ou de platine, construite de manière à pouvoir s'appliquer avec la plus grande facilité sur la partie malade.

Si l'on désire agir intérieurement, on prend, comme l'a fait M. Sarlandière, des aiguilles d'acier ou de platine en relation avec une pile, que l'on introduit, par le procédé de l'acupuncture, dans les parties où l'on veut opérer. Ce mode d'application de l'électricité est le plus efficace de tous ceux qui ont été employés, puisqu'il permet d'agir directement sur la partie malade; aussi est-ce celui qui est le plus généralement employé.

992. Enfin, M. le docteur Fabré-Palaprat a trouvé dans l'électricité un moyen très-simple d'appliquer instantanément un moxa dans les régions les plus profondes du corps, sans produire de lésions appréciables autre part que là où il est apposé. On introduit à cet effet, dans la partie affectée, une aiguille de platine, que l'on met en communication avec l'un des pôles d'une pile composée d'éléments à larges surfaces, capables de produire des effets thermo-électriques énergiques, tandis que l'autre pôle est en relation au moyen d'une plaque métallique avec une région voisine du corps. A l'instant même, l'aiguille s'échauffe jusqu'à l'incandescence, et brûle les chairs contiguës en produisant une vive douleur de très-courte durée. Il se produit, quelques jours après, une inflammation semblable à celle que manifeste le moxa, puis une escarre, qui finit par tomber sous forme de tuyau de plume.

993. Nous devons rappeler que les effets physiolo-

giques des courants électriques, quand ils n'ont pas une grande intensité, varient suivant qu'ils cheminent dans le sens des ramifications nerveuses ou dans la direction opposée; dans le premier cas, il y a contraction, dans le second douleur. Les praticiens ne doivent donc pas perdre de vue cette différence, qui influe nécessairement sur les résultats, s'ils emploient des courants peu énergiques.

Ritter avait déjà signalé ces différences dans les applications de l'électricité à l'organisme. Puisque nous avons vu qu'il avait observé que le pôle positif augmente les forces vitales, tandis que le pôle négatif les diminue; que le premier tuméfie les parties, le second les déprime; que le pouls de la main, tenu quelques minutes en contact avec le pôle positif, est fortifié, tandis qu'il est affaibli si le contact a lieu avec le pôle négatif; que dans le premier cas, on éprouve un sentiment de chaleur; et dans le second, un sentiment de froid. Mais il n'a nullement tenu compte de la direction du courant, par rapport aux ramifications nerveuses. Pour interpréter ces effets, il faut se rappeler le principe que nous avons établi par des expériences décisives, savoir, que l'électricité positive, pour se frayer un passage dans un liquide médiocre conducteur, écarte, renverse les objets qui retardent sa marche, tandis que l'électricité négative ne produit rien de semblable dans les mêmes circonstances; d'après cela, on voit que l'électricité positive tend à irriter, à donner de la vie aux parties qui en manquent, quand elle chemine dans la direction opposée aux ramifications nerveuses.

994. Richerand, qui s'est occupé aussi de l'emploi de l'électricité voltaïque en médecine, a reconnu également qu'il ne fallait pas employer indifféremment l'action des deux pôles, surtout quand on opère avec des appareils simples. Quand il s'agit, par exemple, d'exalter l'irritabilité affaiblie, il conseille d'employer le courant provenant d'un couple argent et zinc, placé de telle manière que l'argent se trouve le plus près pos-

§ IV. *Des cas pathologiques où l'on applique l'électricité.*

996. Les observations que nous allons rapporter montreront que l'électricité agit particulièrement sur le système nerveux, quand on l'emploie comme moyen de guérison.

Grapengiesser a reconnu que, lorsqu'il s'agit de stimuler le nerf optique dans l'affaiblissement de la vue et dans l'amaurose non complète, il faut mettre en contact la membrane des narines avec le conducteur positif, et une partie de la peau qui recouvre le trajet du nerf frontal avec le conducteur négatif. Le courant occasionnant quelquefois dans la membrane nasale une excoriation et une sensation insupportable, on applique le conducteur positif, quand cet inconvénient, a lieu sur la mâchoire supérieure, ou, si la douleur est trop vive, sur la peau mouillée de la joue.

Le même expérimentateur conseille encore, comme le moyen le plus sûr d'irriter le nerf optique, de placer l'extrémité du conducteur négatif, ou celle de l'autre conducteur, sur la cornée, qui, en raison de l'humidité dont elle est imprégnée, transmet l'irritation jusqu'à la rétine. Ce mode d'application exige les plus grandes précautions, attendu qu'il provoque une abondante sécrétion de larmes, et occasionne quelquefois une rougeur très-vive à la conjonctive, et même dans l'oreille une douleur insupportable.

997. Lorsque l'on veut soumettre les deux oreilles à l'action de la pile, il faut adapter à l'extrémité de chacun des conducteurs une tige de métal, renfermée dans un tube de verre et terminée par un bouton métallique, que l'on introduit dans les conduits auditifs. Le conducteur positif correspond à l'oreille la plus insensible. Les nerfs acoustiques sont alors très-irrités; on entend un bourdonnement plus ou moins fort. L'irritation s'étend quelquefois jusqu'au nerf optique.

On peut encore appliquer les conducteurs sur deux plaies de vésicatoire faites derrière les oreilles, afin de provoquer en même temps un écoulement de sérosité.

Quand on ne veut agir que sur une oreille, on complète le circuit en portant la main mouillée sur le pôle non employé de la pile, ou bien on le fait communiquer avec un vésicatoire placé derrière l'oreille malade.

On voit donc, d'après les expériences de Grapengiesser, qui a appliqué l'électricité à la médecine avec beaucoup d'intelligence, que cet agent peut être employé avec un grand avantage dans la faiblesse de la vue et dans l'amaurose dues uniquement à l'inexcitabilité du nerf optique, dans les surdités et dans l'aphonie dépendante de l'affaiblissement du système nerveux. On s'en est servi aussi avec avantage dans la paralysie du sphincter de l'anus et de celui de la vessie.

M. de Humboldt a reconnu également l'efficacité de l'action d'un courant sur des malades affectés de cécité par suite d'un affaiblissement très-grand dans la sensibilité du nerf optique. Il conseille, à ce sujet, de couvrir toute la langue, le palais, et même l'intérieur de la bouche, de métaux très-actifs. Par ce moyen, toutes les ramifications de la 5[e] paire qui se distribuent à ces parties et celles qui se portent à la face, sont affectées en même temps. La prescription de M. de Humboldt est d'accord avec la théorie, puisque le métal le plus oxidable étant mis en contact avec le muscle, le courant chemine dans le sens opposé aux ramifications nerveuses, d'où résulte une plus grande irritation.

998. Ces résultats ont été confirmés, en ce qui concerne les maladies des yeux, par M. Magendie, dont l'autorité est ici d'un grand poids. Ce célèbre physiologiste, en dirigeant l'électricité voltaïque à travers les nerfs de l'orbite, est parvenu à la cure d'amauroses qui avaient résisté à l'action des moyens les plus violents que la chirurgie pût employer, tels que vésicatoires, moxas, etc.; les effets doivent être effectivement plus efficaces que par toute autre application de l'électricité,

puisque les courants réagissent directement sur les nerfs. M. Magendie ayant remarqué que les principaux organes de la vue, le globe de l'œil et le nerf optique, cessent immédiatement d'agir dès qu'ils sont soustraits à l'influence de la 5ᵉ paire, d'où résulte une véritable amaurose, a été conduit par là à présumer qu'il existait deux espèces d'amauroses, l'une qui a pour cause une affection spéciale de la rétine et du nerf optique, et l'autre qui dépend d'une maladie du nerf de la 5ᵉ paire. Il a pensé que, dans ce dernier cas, on pourrait retirer quelque avantage de l'excitation électrique produite sur les diverses branches de la 5ᵉ paire. Pour arriver à ce résultat, il a agi uniquement sur le nerf même, sans intéresser les parties environnantes. A cet effet, il a enfoncé des aiguilles de métal dans les nerfs, après s'être assuré, par des expériences préliminaires, que leur piqûre n'était pas aussi dangereuse qu'on l'avait pensé. La première expérience fut faite sur un jeune homme atteint d'amaurose avec immobilité de la pupille, et qui n'avait éprouvé aucun soulagement des ressources de l'art. M. Magendie enfonça une aiguille d'acier dans le nerf frontal, là où il vient de sortir du trou sourcillier. Il piqua également le nerf sous-orbitaire à l'instant où il sort de l'orbite. Le malade ressentit chaque fois, dans tout le côté correspondant, un effet semblable à celui qu'on éprouve quand on se heurte rudement le coude. Le lendemain, on répéta l'expérience, mais avec cette différence qu'au lieu de piquer le nerf frontal sur le front, on plaça l'aiguille dans l'orbite même, vers le milieu environ de sa longueur.

Il agit ensuite sur le nerf lacrymal, qui a des rapports très-intimes avec la vue, puisqu'il préside à la sécrétion des larmes. Ces diverses tentatives n'amenèrent aucun changement dans l'état de l'amaurose. Il fit passer alors un courant dans les nerfs au moyen des aiguilles, afin d'exciter indirectement l'action de la rétine et du nerf optique. Deux jours après, les aiguilles furent placées, l'une dans le nerf frontal, l'autre dans le nerf

maxillaire supérieur, et mises en communication avec les deux extrémités d'une pile composée de 12 éléments de 6 pouces de diamètre en longueur et en largeur. A l'instant du contact, le malade éprouva une commotion douloureuse dans le trajet du nerf, la lumière l'affecta visiblement, et la pupille se contracta. Après un traitement de 15 jours, l'amaurose s'améliora sensiblement et la pupille reprit ses dimensions ordinaires. M. Magendie a obtenu également des résultats avantageux dans le traitement de plusieurs amauroses incomplètes, avec ou sans paralysie des muscles de l'œil. Il en a été encore de même d'une amaurose qui ne frappait que la moitié externe de la rétine, et qui était accompagnée de la paralysie de la paupière supérieure et des muscles droit interne et droit supérieur de l'œil gauche. Il est essentiel d'observer qu'il n'a obtenu des résultats satisfaisants que sur des amauroses incomplètes.

999. Il a obtenu aussi deux cas remarquables de guérison d'une lésion nerveuse de la vue, sans agir directement sur le nerf.

1er *Cas*. Paralysie du nerf de la 3e paire avec déviation de l'œil en dehors et en bas, et chute persistante de la paupière supérieure depuis plusieurs mois. Cette affection avait résisté à tous les moyens curatifs ordinaires employés par un des plus habiles médecins de Paris. Une seule application de courants électriques dirigés au moyen d'aiguilles de platine introduites, l'une dans le nerf surorbitaire, et l'autre dans le nerf sous-orbitaire, a déterminé la guérison complète. Le lendemain, après une seconde application dont on aurait pu se dispenser, l'œil malade était revenu dans son état naturel.

2e *Cas*. Paralysie du nerf de la 6e paire avec déviation de l'œil en bas et en dedans, avec vision double. Cette affection avait résisté également aux secours ordinaires de la chirurgie; traité par les mêmes moyens

que ci-dessus, l'œil est revenu graduellement dans son état normal; mais il a fallu 15 applications pour obtenir un rétablissement complet.

M. Magendie emploie dans sa pratique le courant tantôt dans un sens, tantôt dans un autre; suivant lui, dans les deux cas, l'électricité agit comme excitant, mais il a reconnu cependant que la douleur est beaucoup plus vive quand le courant chemine dans le sens opposé aux ramifications nerveuses, que dans l'autre : ce fait annonce bien une différence dans les effets produits. Si cet habile physiologiste employait des courants moins intenses, il trouverait dans les effets une différence très-marquée, que nous avons signalée à plusieurs reprises dans ce chapitre.

M. Magendie a enfin reconnu que l'électricité voltaïque agit particulièrement dans les névralgies, surtout quand on fait passer le courant dans le trajet du nerf malade.

1000. Continuons à rapporter les observations qui tendent à prouver l'influence de l'électricité dans les maladies où les nerfs sont affectés.

Le docteur Philip Wilson a observé que le galvanisme soulage, et même guérit l'asthme qui provient d'une affection nerveuse, et cela dans la proportion de 9 malades sur 10. Le galvanisé éprouve plus de facilité à respirer après un intervalle de cinq à dix minutes. Il s'est servi pour cela d'une batterie composée au plus de 30 plaques, chacune de 4 pouces carrés. Le fil positif aboutissait à la nuque, et le fil négatif au creux de l'estomac; l'une et l'autre partie étaient recouvertes de feuilles d'étain, sur lesquelles l'auteur promenait les fils. L'opération ne durait pas au delà d'un quart d'heure.

1001. M. Fabré-Palaprat, atteint depuis un certain nombre d'années d'une maladie nerveuse, eut l'idée de porter l'électricité, au moyen de l'acupuncture, le plus près possible du cervelet, qu'il considérait comme le siége principal de sa maladie. Une aiguille fut placée des deux côtés du crâne, dans la région du cervelet, sur

l'os même, et une autre dans une partie adjacente. Les deux aiguilles ayant été mises en communication avec une pile, il fut électrisé par commotion, c'est-à-dire, que l'on interrompit le circuit à des instants très-rapprochés. Le courant était dirigé tantôt dans un sens, tantôt dans un autre. Ce traitement, qui dura plusieurs mois, fut suivi d'une guérison complète.

Ce même médecin assure avoir obtenu des résultats satisfaisants, en appliquant l'électricité voltaïque à des rhumatismes aigus et à des engorgements lymphatiques.

§ V. *Traitement électrique appliqué à la paralysie en général.*

1002. La paralysie est l'affection qui a le plus occupé les personnes qui ont appliqué l'électricité à la médecine : tantôt des résultats satisfaisants ont été obtenus, tantôt il y a eu absence d'effets ; d'après cela, nous serions disposé à croire que le traitement ne réussit pas dans le cas où la paralysie est complète.

Nous allons passer en revue les différents modes d'expérimentation employés et les résultats qu'on en a obtenus.

1003. M. Marianini (1) a employé avec succès, sur plusieurs personnes affectées de paralysie, le traitement suivant, entre autres sur une jeune femme de 23 ans, qui avait perdu subitement l'usage de ses membres ; toute sensibilité y était également éteinte. Il se servit à cet effet d'une pile voltaïque, composée de 58 disques de cuivre et autant de zinc, chaque paire étant séparée de la suivante par une rondelle de drap trempée dans de l'eau salée. Une bande de plomb en communication avec le pôle positif entourait la jambe, et une bande semblable, communiquant au pôle négatif, aboutissait à une plaque d'étain placée entre le cou-de-pied et les orteils, chaque

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. LIV, p. 366.

fois que l'on voulait donner la secousse. Il commença par donner 150 secousses à l'une des jambes, et ensuite le même nombre à l'autre jambe, puis à toutes les deux simultanément 300 secousses, en faisant communiquer un des pieds avec le pôle positif, et l'autre avec le pôle négatif. Il mit un intervalle d'une à deux secondes entre chaque secousse, et un repos de deux ou trois minutes après en avoir administré 40 ou 50. Dans l'intervalle d'une série de secousses à l'autre, le circuit restait fermé. Il électrisait quelquefois le malade en mettant l'extrémité de la bande de plomb terminée en pointe et communiquant avec le pôle négatif, en contact avec l'endroit de la jambe dont la peau lui paraissait la plus délicate, et qui avait été humectée préalablement d'eau salée; il en résulta une sensation analogue à celle d'une piqûre, qui fut la première que la malade ressentit. Ce traitement fut administré pendant plus d'une heure, et répété plusieurs jours de suite. Le nombre des couples fut ensuite porté à 75; les commotions devenant assez pénibles, il fut obligé d'envelopper la jambe, sur laquelle on appliquait la bande de plomb, d'une toile humide. Après un mois de traitement, il substitua à son appareil un autre à couronne de cent tasses; la superficie mouillée des plaques était d'environ 3 centimètres carrés, et le conducteur liquide de l'eau de mer, à laquelle on avait ajouté du sel. Dès cette époque, les commotions furent portées à 800; on ajouta, tous les 4 ou 5 jours, une nouvelle quantité de sel dans le liquide, et les plaques oxidées furent nettoyées avec soin. M. Marianini obtint des résultats évidents d'amélioration douze jours après avoir commencé le traitement; la malade éprouva d'abord un sentiment de démangeaison, puis elle s'aperçut par le toucher que son pied était en contact avec un corps mouillé. Le 15e jour elle put, quoique avec peine, exécuter les mouvements ordinaires du pied. Le 21e jour elle put sortir à pied, quoique soutenue avec peine; dès lors l'amélioration de la santé fut progressive, et 4 jours après elle marchait sans fatigue et ne fut plus

électrisée après. Une autre dame, âgée de 29 ans, ayant le côté gauche paralysé depuis quatre ans, par suite d'une maladie grave et nerveuse, fut soumise au même mode d'expérimentation. Dans l'espace de 2 mois, la malade fut électrisée environ 40 fois; elle se trouva mieux, quoique aux yeux de M. Marianini l'amélioration fût bien faible. Le mieux continua cependant après la cessation du remède, et au bout de 20 mois le côté gauche était aussi bien portant que le droit.

Le 12 septembre 1828, il soumit à l'action de l'électricité voltaïque un homme âgé de 30 ans, affecté de paraplégie incomplète. La sensibilité était dans l'état naturel, mais le mouvement volontaire n'existait que dans quelques parties des doigts du pied. Les membres étaient peu flexibles, et cette roideur s'étendait jusqu'aux lombes, de manière qu'il ne pouvait rester autrement qu'étendu sur son lit, et que, s'il voulait soulever la tête ou le dos, il était obligé de se soutenir sur ses coudes. Cet état, qui durait depuis 20 mois, provenait d'une maladie de l'épine dorsale. Ayant été électrisé avec l'appareil à couronne de tasses en donnant 200 secousses les premiers jours, et augmentant ce nombre jusqu'à 500, avec 60, 70, 80 et même 100 paires, et faisant aller l'électricité du pied droit au pied gauche, le traitement fut ainsi administré pendant 2 mois. Le malade parvint à se dresser sur ses pieds, et même à faire quelques pas; le traitement fut discontinué, attendu qu'on considéra la paraplégie comme guérie.

M. Marianini cite ces cas de guérison, mais il ne nous dit pas s'il a eu quelquefois des non-succès; ce qui est à présumer, car jusqu'ici on est loin d'avoir reconnu que l'électricité fût un spécifique certain dans la paralysie.

1004. Grapengiesser, dans la paralysie des extrémités, a administré l'électricité de la manière suivante : il a placé les conducteurs d'une pile ou sur la peau seulement mouillée, ou sur la peau dénudée par les vésicatoires, de telle manière que le pôle positif répondît au

tronc nerveux, et l'autre à ses ramifications. Pour obtenir quelque effet, il a reconnu qu'il fallait quelquefois employer un appareil voltaïque de 150 couples, tant la paralysie éteint l'excitabilité nerveuse.

1005. Quelques exemples prouvent que l'électricité peut agir avec efficacité sur des paralysies autres que celles qui affectent les organes de la vue.

Un individu était atteint (1) de paralysie à la face, et principalement aux yeux. Pendant qu'il se promenait dans sa chambre, un coup de tonnerre le renversa sans connaissance; il revint à lui au bout de 20 minutes, mais il ne recouvra parfaitement l'usage de ses facultés que dans le reste du jour et de la nuit. Le lendemain, il se trouva parfaitement remis : depuis, sa paralysie ne s'est plus reproduite.

On a employé jadis, dit-on, avec succès, dans la Guyane hollandaise, les effets du gymnote pour guérir de la paralysie. Ce qui tend à donner de la vraisemblance à cette assertion, c'est que M. de Humboldt, après avoir fait des expériences pendant quatre heures avec des gymnotes, a éprouvé jusqu'au lendemain une débilité dans les muscles, une douleur dans les jointures, un malaise enfin qui était l'effet d'une forte décharge. La commotion donnée par le gymnote a donc une puissance d'action capable de réagir fortement sur le système nerveux.

1006. Nous avons vu que M. Nobili était parvenu à faire naître le tétanos dans une grenouille, au moyen des courants électriques. En étudiant une grenouille qui en était atteinte, il a observé qu'elle persistait dans cet état sous l'action d'un certain courant, et qu'elle détendait complétement ses membres sous l'action d'un courant contraire. Il ne put cependant réussir que sur quelques grenouilles frappées également du tétanos. Il a cru devoir en tirer la conséquence que

(1) Annales de Ch. et de Phys., t. XIX, p. 69.

l'action continue des courants électriques dans un sens déterminé, peut-être dans tous les deux, pourrait bien servir à calmer, sinon à guérir le tétanos. Quant à la paralysie et à son mode de traitement, voici quelles sont les vues de M. Nobili : en appliquant l'électricité à un membre paralysé, on a pour but d'exciter le système nerveux de manière à pouvoir déterminer le mouvement dans le muscle. L'action continue du courant tend, au contraire, à lui ôter une partie de son irritabilité, puisqu'une grenouille, quand elle est restée environ une demi-heure dans le circuit d'une pile, ne se contracte plus sous l'action de la cause excitante qui l'agitait d'abord. L'action d'un courant discontinu tend à produire un effet contraire, puisqu'elle met en jeu l'excitabilité du nerf, au point de faire naître le tétanos artificiel. Dans la paralysie, le système nerveux a perdu de son excitabilité; dans le tétanos, cette excitabilité est portée au dernier degré. Le traitement dans l'un et l'autre cas, suivant M. Nobili, doit donc être opposé. Dans le tétanos, on emploiera l'électricité voltaïque en courant continu, pour paralyser le nerf; pour la paralysie, on emploiera les courants discontinus qui irritent le nerf à chaque instant. Ces vues sont certainement très-judicieuses et méritent de fixer l'attention des physiologistes.

§ VI. *De l'action de l'électricité agissant comme force chimique.*

1007. Nous avons à considérer maintenant de quelle manière l'électricité peut réagir chimiquement sur les organes.

Grapengiesser a reconnu que lorsque les conducteurs d'un appareil voltaïque sont appliqués sur la peau dénudée, l'action du courant, si elle est prolongée, active la sécrétion de la sérosité. Si la peau est simplement mouillée, il se forme assez promptement une escarre.

1008. M. de Humboldt a produit de l'inflammation à ne plaie de la main, par l'application de l'irritation

métallique. Il s'était écorché le poignet à l'endroit où l'artère est très-superficielle. L'épiderme était enlevé, mais le sang ne coulait qu'en petite quantité. Il plaça une armature de zinc sur la plaie, et toucha ce zinc avec une médaille d'argent. Pendant le contact, il éprouva de la tension jusqu'au bout des doigts, un tremblement et un picotement dans toute la main. La douleur devint manifestement plus aiguë quand le bord de la médaille touchait le zinc, qu'elle ne l'était quand la surface plane était appuyée sur lui. L'irritation augmentait aussi l'écoulement du sang. Dès que le sang se caillait, l'armature produisait un effet beaucoup plus faible. En pratiquant des incisions légères, l'électricité appliquée pendant plusieurs jours produisait une inflammation très-marquée.

1009. Le même savant s'était fait appliquer deux vésicatoires, de la grandeur d'une pièce de cinq francs, sur les épaules. Quand on ouvrit les deux vésicules, la sérosité en sortit, comme à l'ordinaire, sans couleur. Il fit couvrir la plaie du côté droit avec une plaque d'argent. A peine en eut-on approché un conducteur de zinc, qu'on provoqua par ce moyen un nouvel écoulement d'humeurs, accompagné d'une cuisson très-douloureuse. Cette humeur n'était pas, comme la première, blanche et d'un caractère doux. Elle prit en peu de secondes une teinte d'un rouge vif, et partout où elle coulait elle laissait des raies d'un bleu rougeâtre. L'ulcère le plus malin ne fournit pas une humeur aussi âcre, et dont l'effet fût aussi prompt.

1010. Reynnold a répété sur plusieurs malades l'expérience de M. de Humboldt, particulièrement sur un malade qui avait un ulcère vénérien prêt à se guérir. Le premier jour, démangeaison douloureuse; le troisième jour, le pus de l'ulcère ayant été enlevé, on vit suinter un autre pus d'un rouge pâle, qui produisait sur les bords de l'ulcère une inflammation âcre.

1011. Dans la sensation produite par l'effet voltaïque, M. de Humboldt a distingué une pulsation forte et un

sentiment de pression accompagné d'une cuisson prolongée. La cuisson était beaucoup plus marquée lorsque la plaie était couverte d'une armature d'argent et qu'elle était irritée avec une tige de zinc, que lorsqu'une plaque de zinc couvrait la plaie, et qu'une plaque d'argent servait à établir la communication. Cet effet se conçoit très-bien à l'aide de l'observation de M. Marianini, que nous avons rappelée déjà plusieurs fois.

1012. Les différents effets dont nous venons de parler peuvent être attribués aussi à l'action décomposante de l'électricité. La plaie en rapport avec le pôle positif doit sécréter une humeur acide; celle qui est en rapport avec le pôle négatif, une humeur alcaline. Voyons de quelle manière on peut changer la nature d'une sécrétion, en s'appuyant sur les phénomènes électro-chimiques.

1013. Considérons un ulcère rebelle, et supposons qu'un examen préliminaire ait constaté son état positif, c'est-à-dire, la faculté dont jouit la partie adjacente de sécréter des matières acides. Pour détruire l'état positif qui prévaut, ne peut-on pas maintenir cette partie, pendant un temps suffisamment long, dans un état négatif assez énergique pour lui faire sécréter des humeurs d'une nature entièrement opposée à celles qui sont produites pendant l'état pathologique? Si l'action résultant de ce nouvel état électrique est appliquée graduellement, il pourra se faire que les deux forces égales et contraires se neutralisent, et que la partie revienne à l'état normal. De même, si l'état négatif est exagéré, ne peut-on pas appliquer à l'endroit malade le pôle de nom contraire d'un appareil voltaïque, dont on a déterminé préalablement la force?

Cette idée de réagir sur les sécrétions, comme on le fait sur un métal pour empêcher son oxidation dans un liquide, en le mettant en contact avec un métal plus oxidable que lui, est due à M. Orioli; elle peut conduire à des résultats importants en physiologie.

1014. Mansford, qui a fait usage de ce mode d'expérimentation, s'est servi de deux disques, l'un de zinc,

l'autre de cuivre ou d'argent, unis ensemble au moyen d'un fil métallique soudé; il les maintenait en place avec des bandages convenables pendant des jours, des semaines et des mois, ne les nettoyant que de temps à autre, lorsqu'il y avait urgence. Cette méthode est, à la vérité, très-simple, puisque l'appareil peut être appliqué immédiatement, sans que l'individu soit forcé à un repos absolu; mais, d'un autre côté, les produits qui se déposent sur les lames de métal ne tardent pas à diminuer l'effet de l'action voltaïque, et même à l'anéantir. De plus, ces produits, qui sont des sels métalliques, peuvent réagir sur les tissus environnants d'une manière nuisible; ainsi donc on ne peut employer cette méthode qu'avec une certaine circonspection. Il faudrait pouvoir agir avec deux lames de platine en relation avec un petit appareil que l'on porterait sur soi, puis nettoyer de temps à autre les lames de platine, pour enlever les produits secondaires.

1015. Dans quelques cas, il serait bon de baigner dans de l'eau tiède les parties trop sèches, et de renouveler le bain de temps en temps, pour augmenter la conductibilité. Quand il s'agit de plaies, on pourrait faire l'application immédiate de l'électricité; mais dans toute autre circonstance, on devrait employer un vésicatoire, ou bien le procédé de l'acupuncture.

1016. Il existe encore un autre moyen de faire réagir chimiquement l'électricité sur l'économie animale, c'est de se servir de son action pour transporter dans l'intérieur du corps un agent chimique quelconque, capable de produire tel ou tel effet sur un organe malade. M. le docteur Palaprat a fait quelques expériences à cet égard, dont voici les résultats : après avoir séché autant que possible les deux bras d'une femme, il a appliqué sur l'un d'eux une petite compresse imbibée d'une dissolution d'iodure de potassium, qu'il a recouverte avec une lame de platine en communication avec le pôle positif d'une pile formée de trente éléments, et chargée avec un liquide suffisamment conducteur pour

opérer des décompositions. Il a placé à l'autre bras une compresse humide avec de l'amidon, et l'a également recouverte d'une plaque de platine en communication avec le pôle négatif. Peu d'instants après, l'amidon a pris une teinte bleue, preuve que l'iode a été transporté de l'un des bras à l'autre. Ce transport a dû s'opérer dans l'intérieur du corps, puisque la peau, qui était suffisamment sèche, ne pouvait donner passage au courant. Dans une autre expérience, il a enlevé légèrement l'épiderme de la peau; l'effet a encore été plus marqué. On savait qu'en réunissant l'acupuncture à l'action d'une pile, l'aiguille d'acier communiquant avec le pôle positif s'oxidait, ce qui annonçait l'effet chimique de la pile. M. Fabré-Palaprat, profitant de cette observation, a cherché à transporter de l'iode ou d'autres réactifs, au moyen des aiguilles, dans une partie du corps. Pour cela, il a remplacé la plaque négative par plusieurs aiguilles en acier disposées comme dans l'acupuncture; aussitôt l'iode ou les autres principes électro-négatifs ont été transportés à l'extrémité des aiguilles, et de là ont pu réagir sur les parties environnantes.

Ce principe, convenablement appliqué, est de nature à produire des effets avantageux dans des maladies organiques. M. Fabré-Palaprat nous a assuré qu'il l'avait employé avec succès pour fondre des engorgements qui avaient résisté à toutes les médications employées antérieurement.

§ VII. *L'électricité atmosphérique exerce-t-elle une influence sur l'économie animale?*

Un grand nombre de personnes assurent que l'électricité atmosphérique exerce une certaine influence sur les êtres animés. Nous devons donc examiner jusqu'à quel point cette assertion est fondée : il suffit pour cela d'appliquer à l'homme les observations que nous avons déjà exposées, touchant l'action présumée de l'électri-

cité atmosphérique sur les végétaux en général. Nous avons dit que lorsque l'électricité libre s'écoule par un conducteur humide, sans l'intermédiaire d'aucun conducteur métallique, il s'opère toujours des réactions chimiques, dont M. Faraday a bien constaté l'existence. Si nous considérons maintenant l'électricité de l'atmosphère, qui est constamment positive dans les temps sereins, et tantôt positive, tantôt négative dans toute autre circonstance, la terre étant toujours dans un état électrique opposé, nous voyons qu'il doit se produire continuellement des décharges par l'intermédiaire de tous les corps qui se trouvent à la surface de la terre, tels que les animaux, les hommes, etc. Dès lors, il doit s'opérer, par suite du passage de l'électricité dans ces derniers, une suite de décompositions et de recompositions chimiques, qui contrarient ou favorisent l'action des forces vitales, suivant le sens dans lequel elles s'exercent. Dans l'état ordinaire de l'atmosphère, l'électricité que l'air cède à la terre étant toujours positive, elle doit déposer sur la surface du corps des composés acides. Or, nous savons que les liquides qui sont sécrétés à la peau sont ordinairement acides, par conséquent, l'électricité positive de l'atmosphère dans les temps calmes ne peut que favoriser cette sécrétion. Si l'électricité est négative, la réaction chimique contrarie le jeu des forces organiques, puisqu'elle tend à attirer sur la peau des composés alcalins. Voilà tout ce que nous pouvons dire, pour l'instant, concernant l'action de l'électricité atmosphérique sur les corps animés. Ce n'est pas là une conjecture, mais bien une assertion fondée sur des faits positifs.

§ VIII. *Vues de Galvani sur les applications de l'électricité à la médecine.*

1017. Nous ne devons pas terminer ce chapitre sans faire connaître la manière de voir de Galvani, quelque singulière qu'elle paraisse à l'époque actuelle, touchant

le rôle que joue l'électricité dans l'économie animale. L'histoire de la science le réclame, et en outre quelques-uns des aperçus ingénieux qu'elle lui a suggérés pourront servir aux physiologistes.

Galvani attribuait les douleurs vives et les contractions musculaires, dans les affections rhumatismales graves, à des humeurs extravasées placées sur la surface du nerf, et qui agissaient non-seulement par l'irritation qu'elles y produisaient, mais encore en fournissant au fluide électrique une espèce d'arc ou d'armature plus considérable. Il expliquait, d'après la même manière de voir, les contractions fréquentes et surtout mortelles qui se déclarent aussitot que des liquides s'amassent, soit entre le cerveau et la pie-mère, soit entre cette membrane et la dure-mère, soit dans les ventricules du cerveau, soit entre la moelle épinière et le canal vertébral, ou entre les nerfs et leurs propres enveloppes. Il attribuait aussi ce phénomène au changement survenu dans les couches de matière isolante dont les nerfs étaient, suivant lui, environnés. Ces couches, en s'altérant, devenant conductrices, il en résultait que le torrent électrique trouvait un plus libre passage, et devait produire de fortes et violentes commotions. Il pensait que le tétanos était produit par une cause semblable.

Galvani chercha ensuite à expliquer, d'après la même théorie, l'état contraire, c'est-à-dire la perte absolue de la faculté contractile, d'où résulte la paralysie. Il attribua cette dernière à l'interposition d'un corps non conducteur, qui s'opposait au passage du fluide électrique du muscle au nerf et du nerf au muscle. Galvani convient qu'on ne peut expliquer ainsi que les paralysies ou les apoplexies qui se développent lentement; il a comparé les phénomènes apoplectiques ou épileptiques aux effets obtenus par l'application artificielle de l'électricité aux animaux, et il y trouve la plus grande analogie. Si l'on fait passer la décharge, dit-il, du conducteur de la bouteille de Leyde par le cerveau, les nerfs ou la moelle épinière d'un animal, celui-ci

éprouve des convulsions plus ou moins fortes, qui frappent de paralysie ou entraînent la mort, suivant la force de la décharge. Il pense, d'après cela, qu'un afflux d'électricité animale vers le cerveau peut occasionner des accidents aussi graves, et que cette cause doit produire plus facilement et plus promptement ses effets, si elle attaque directement l'organe cérébral, que si elle agit uniquement sur le nerf, attendu que, dans le premier cas, il en résulte des maladies idiopathiques, et, dans le second, des maladies sympathiques. Galvani appuyait son hypothèse sur l'observation qu'on a faite touchant les épileptiques, savoir, que la plupart d'entre eux ressentent, à l'instant de l'accès, comme un courant d'air, qui leur monte de l'estomac, du bas-ventre, ou des extrémités inférieures vers le cerveau. Il arrive quelquefois qu'en faisant une forte ligature à la jambe l'accès n'a pas lieu; suivant lui, c'est un moyen de s'opposer à la transmission du courant vers le cerveau.

Voici maintenant, suivant Galvani, la manière d'administrer l'électricité. Il faut avoir égard à trois circonstances principales : 1° à celle où l'électricité artificielle agit promptement et avec violence sur l'économie animale, comme dans l'expérience de la bouteille de Leyde; 2° à celle où cette même électricité agit d'une manière lente et successive, et que l'on désigne sous le nom de *bain électrique;* 3° enfin, à celle où l'on retire de l'animal une quantité d'électricité donnée, comme lorsqu'on emploie l'électricité négative, les mouvements convulsifs dépendant d'une électricité animale viciée et exubérante qui, sollicitée par des causes souvent très-légères, est entraînée vers le cerveau et les nerfs, ou de quelques principes âcres et stimulants qui portent leur action sur ces organes.

Dans le premier cas, l'électricité négative sera très-efficace; dans le second, ce sera l'électricité positive, surtout si l'on a l'attention de diriger son effet immédiatement sur les nerfs affectés. Il recommande, d'après

cela, de déterminer toujours dans les maladies convulsives celle des deux électricités qu'il convient d'employer. Il dit aussi que, lorsque l'état électrique de l'air est très-abondant, il faut avoir égard à cette circonstance. Suivant Galvani, le moyen préférable à tous les antres dans l'application de l'électricité négative, c'est celui de faire communiquer celle qui réside dans les muscles d'une partie avec les nerfs de la partie malade; ce moyen est le plus efficace pour transmettre l'électricité animale des muscles aux nerfs affectés, et d'expulser les substances étrangères qui les irritent.

CONCLUSION.

1018. Nous croyons avoir présenté dans ce volume l'ensemble des faits qui peuvent donner une idée aussi complète que possible de l'état actuel de nos connaissances sur l'action physiologique de l'électricité. Ces faits suffisent pour montrer que l'électricité joue probablement un grand rôle dans l'économie animale, aussi doit-elle être comptée au rang des causes qui entretiennent la vie dans les corps organisés. Mais de quelle manière ces corps, quand ils commencent à se développer, mettent-ils en mouvement le principe électrique dont l'action persévère pendant toute leur vie? c'est ce que nous ignorons complétement. C'est là, sans doute, un des mystères de la création, que l'homme ne pourra jamais pénétrer. Le lecteur a pu voir avec quelle circonspection nous avons mis en avant nos opinions touchant l'action physiologique de l'électricité, dans la crainte de l'induire en erreur sur la cause des plus grands phénomènes de la nature; nous nous estimerons heureux si elles peuvent engager les physiciens et les physiologistes à continuer des recherches qui intéressent à un haut degré la philosophie. Quant à l'application de l'électricité à l'art de guérir, malgré les tenta-

tives nombreuses qui ont été faites à ce sujet depuis plus de quarante ans, nous n'avons encore recueilli que très-peu d'observations probantes, excepté cependant en ce qui concerne les maladies nerveuses, où les faits commencent à se grouper, pour montrer qu'elle peut exercer sur elles une influence salutaire, quand elle est dirigée par un physiologiste habile.

FIN DU QUATRIÈME VOLUME.



TABLE

DES MATIÈRES CONTENUES DANS CE VOLUME.

DISCOURS PRÉLIMINAIRE.

DE LA MESURE

DES TEMPÉRATURES

À L'AIDE DES EFFETS THERMO-ÉLECTRIQUES.

LIVRE VII.

CHAPITRE PREMIER.

DE LA MESURE DES HAUTES TEMPÉRATURES.

CHAPITRE II.

DE LA MESURE DES TEMPÉRATURES DES PARTIES INTÉRIEURES DES CORPS ORGANISÉS.

DE LA PHOSPHORESCENCE.

LIVRE VIII.

CHAPITRE PREMIER.

PRINCIPES GÉNÉRAUX.

DE L'ACTION DE L'ÉLECTRICITÉ

SUR LES CORPS ORGANISÉS.

LIVRE X.

CHAPITRE PREMIER.

RECHERCHES RELATIVES A L'ACTION DE L'ÉLECTRICITÉ SUR LES VÉGÉTAUX.

CHAPITRE II.

ACTION DE L'ÉLECTRICITÉ SUR LES CORPS ANIMÉS.

CHAPITRE III.

DES POISSONS ÉLECTRIQUES.

CHAPITRE IV.

THÉORIE DES CONTRACTIONS.

CHAPITRE V.

APPLICATION DE L'ÉLECTRICITÉ A L'ART DE GUÉRIR.

FIN DE LA TABLE.

ERRATA.

Pages.	Lignes.	
xv	23	ne paraissent, *lisez* : me paraissent.
26	38	es, *lisez* : expériences.
37	1	monvment, *lisez* : mouvement.
65	1	nouvel arrangement entre. — *Supprimer ces mots.*
81	3	présentant, *lisez* : présentant chacune.
100	21	n'a accusé, *lisez* : n'ait accusé.
140	15	de non coutraire, *lisez* : de nom contraire.
146	12	l'arc-en-ciel ; reposent, *lisez* : l'arc-en-ciel, ils reposent.
207	13	n° 28, *lisez* : fig. 28.
217	17	des nerfs, *lisez* : lisez des nerfs de la baleine.
299	35	alcalm, *lisez* : alcalin.

ERRATA

DU TOME TROISIÈME.

Pages.	Lignes.	
16	29	g'', *lisez* : g'.
21	6	*uy*, *lisez* : *nx*.
32	30	mobile; exactemeot, *lisez* : mobile exactement.
41	17	fig. 51, *lisez* : fig. 51 *bis*.
47	31	sont de, *lisez* : sont dirigés de.
55	25	c s', *lisez* : o s'.
114	10	fig. 69, *lisez* : fig. 71.
114	31	fig. 70, *lisez* : fig. 72.
123	15	et chaque, *lisez* : et celle de chaque.
184	19	fig. 57, *lisez* : fig. 86.
191	1	èectro-chimiqoes, *lisez* : électro-chimiques.
193	34	électrod, *lisez* : électrode.
195	24	dans l'expérience, *lisez* : par l'expérience.
199	13	d'oxide, *lisez* : s'oxide.
201	17	et qui, *lisez* : qoi.
219	10	la première, *lisez* : celle-ci.
219	11	la troisième, *lisez* : première.
219	14	oo, *lisez* : et.
220	20	tandis que, *lisez* : au contraire.
226	20	électricité électriqoe, *lisez* : électricité voltaïqoe.
227	35	differente, *lisez* : différente.
229	32	moins, *lisez* : plus.
231	2	d'elle, *lisez* : d'elles.
240	19	poor l'instant, *lisez* : pour le momeot:
253	10	à reculer de l'action, *lisez* : à l'action.
265	30	la boude, *lisez* : la boole.
289	6	décomposer l'eau, *lisez* : d'opérer des décomposition s chimiques.
290	17	526. L'expérience, *lisez* : L'expérience.
290	26	Soit, *lisez* : 526. Soit.
292	26	d'argile sondée homectée, *lisez* : d'argile humectée.
292	30	d'on, *lisez* : do.
293	15	se soient, *lisez* : soient.
293	37	qu, *lisez* : qui.

Pages	Lignes.	
293	22	cuivre métallique, *lisez :* cuivre réduit.
301	11	ces deux, *lisez :* les deux.
312	10	par, *lisez :* avec.
312	11	et de, *lisez :* de.
325	11	sensible, *lisez :* à peine sensible.
326	4	dans A, *lisez :* dans A'.
331	24	de fil, *lisez :* de fil de platine.
331	26	un tube, *lisez :* le tube.
331	28	on fait sortir le fil, *lisez :* on le fait sortir.
334	37	en eu, *lisez :* en.
347	7	que l'autre, *lisez :* que lui.
353	17	carbonatee, *lisez :* carbonatée.
383	3	courant métallique, *lisez :* courant électrique.
389	34	à quelque endroit, *lisez :* en quelque endroit.
390	5	sont une, *lisez :* seraient une.
406	titre.	Théorie chimique, *lisez :* Théorie électro-chimique.
413	9	puique, *lisez :* puisque.
417	13	on ne changera rien. — *Supprimer ces mots.*

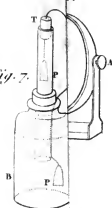
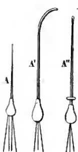
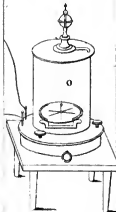


Fig. 7.





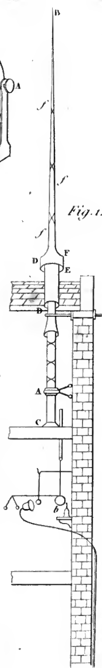


Fig. 12.

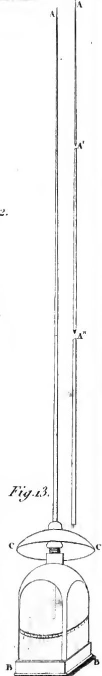
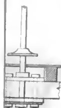


Fig. 13.

Gravé par Adam



NAPOLI



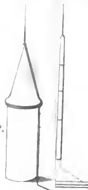
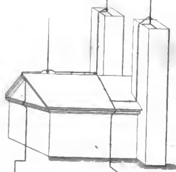
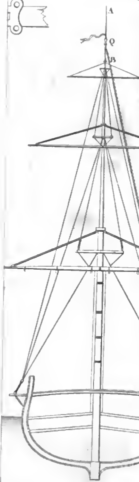


Fig. 22.



. 21.





8.

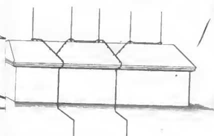
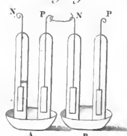


Fig. 27.

Fig. 29.



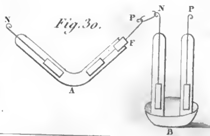


Fig. 30.

Gravé par Adam



Fig. 35.



Fig. 38 bis.

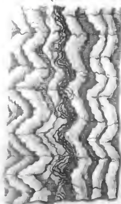
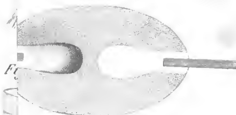




Fig. 39.





Fi

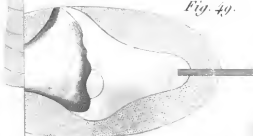
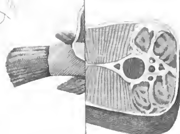


Fig. 49.





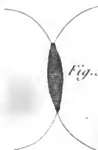


Fig. 50.

Gravé par Adam





